

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 23
№ 3
2022

Vol. 23
No. 3
2022

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

Цель журнала – публикация
и распространение результатов
фундаментальных и прикладных
исследований отечественных и
зарубежных ученых по научному
обеспечению сельского и охот-
ничьего хозяйств при приоритет-
ном освещении проблем рацио-
нального природопользования и
адаптации агроэкосистем север-
ных территорий к меняющимся
климатическим условиям.

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



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

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

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-
организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,

Шемуранова Наталья Александровна – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельско-
хозяйственных животных, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока,
г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев
Николай Руфеевич

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

Багиров
Вугар Алиевич

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

Баталова Галина
Аркадьевна

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

Гурьянов Александр
Михайлович

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

Дёгтева Светлана
Владимировна

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

Джавадов
Эдуард Джавадович

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

Домский Игорь
Александрович

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ «Всероссийский научно-
исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства
имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

Еремин
Сергей Петрович

д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения
с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Иванов Дмитрий
Анатольевич

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

Казакевич
Пётр Петрович

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

Косолапов Владимир
Михайлович

д.с.-х.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный
научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса»,
г. Москва, Россия

Костяев Александр
Иванович

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель
отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК
и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских
территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский
ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Куликов
Иван Михайлович

д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный
селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства»,
г. Москва, Россия

Леднев
Андрей Викторович

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

Никонова Галина
Николаевна

д.э.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник, руководитель
отдела прогнозирования трансформации экономических структур и
земельных отношений Института аграрной экономики и развития сельских
территорий – структурного подразделения ФГБНУ «Санкт-Петербургский
ФИЦ РАН», г. Санкт-Петербург, Россия

Пашкина
Юлия Викторовна

д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и
ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородская государ-
ственная сельскохозяйственная академия», г. Нижний Новгород, Россия

Савченко
Иван Васильевич

д.б.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник отдела
растительных ресурсов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский
институт лекарственных и ароматических растений», г. Москва, Россия

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

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

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

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

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

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

На 4-й странице обложки фото
В. Малишевского

Подписано к печати
17.06.2022 г.

Дата выхода в свет
30.06.2022.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 16,51.

Тираж 100 экз. Заказ 10.

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

Щеникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

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
Сибиятулович

д.б.н., профессор, руководитель аграрно-экологического направления
АНО «Нижегородский научно-образовательный центр»,
г. Нижний Новгород, Россия

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

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

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

д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, главный научный сотрудник ФГБНУ
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Россия

д.б.н., главный научный сотрудник, зав. лабораторией биотехнологии растений
и микроорганизмов ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

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

Президент Байченской академии сельскохозяйственных наук (КНР),
иностранный 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,
иностранный член РАН, член инженерной академии наук Китая,
г. Чанчунь, Китай

Редакционная коллегия

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

д.с.-х.н., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр 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 ФГБНУ
«Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства
и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

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

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



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

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

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

Editorial council

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Technical edition, layout
Irina V. Kodochigova

Cover layout
Natalia N. Soboleva

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

Passed for printing
17.06.2022 г.

Date of publication
30.06.2022.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. 1. 16.51.
Circulation 100 copies. Order 10.
Free price.

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

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

Editorial Board

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

- В. И. Пахомов, В. Ф. Хлыстунов, С. В. Брагинец, О. Н. Бахчевников*
Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор)..... 281
- О. И. Захарова, О. А. Бурова, Н. Н. Торопова, И. В. Яшин, А. А. Блохин*
Высокопатогенный грипп птиц в мире: стратегии вакцинации (обзор)..... 295

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Ю. А. Лапшин, В. А. Максимов, Р. И. Золотарёва*
Влияние агроклиматических условий и минеральных удобрений на зерновую продуктивность ярового тритикале в условиях Республики Марий Эл..... 307
- Л. Н. Прокина, С. В. Пугаев*
Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников, удобрений и известкования.. 318
- О. В. Левакова*
Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации..... 327
- Н. А. Ковтунова, В. В. Ковтунов, А. Е. Романюкин, Г. М. Ермолина*
Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий..... 334
- И. В. Михайлова, А. Б. Хвостова, Л. Л. Малышев*
Стабильность и пластичность хозяйственно ценных признаков у образцов козлятника восточного в условиях Мурманской области..... 343

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ

- А. М. Шпанев, В. В. Смур*
Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе Российской Федерации..... 351

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

- О. В. Балун, Е. П. Шкодина, В. А. Яковлева, С. Ю. Жукова*
Экологические режимы почв Новгородской области, осушаемых открытым дренажем..... 360
- А. А. Артемьев, А. М. Гурьянов*
Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы... 369
- А. В. Ивенин, А. П. Саков, Ю. А. Богомолова, Т. С. Бузынина*
Изменение агрохимических показателей светло-серой лесной почвы и продуктивности клевера лугового в зависимости от уровня минерального питания на фоне последствий известкования в условиях юго-востока Волго-Вятского региона..... 378

ЗООТЕХНИЯ

- О. В. Руденко*
Оценка влияния родственного спаривания на молочную продуктивность голштинских коров..... 386
- А. С. Литонина, Ю. М. Смирнова, А. В. Платонов*
Влияние пробиотика «Румит» на ростовую активность телят черно-пестрой породы..... 395

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

- А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин, В. Ю. Мокиев*
Обоснование основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора с использованием различных методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале.. 402
- Е. В. Авакимянц*
Теоретические предпосылки к обоснованию параметров смесителя белково-минерально-витаминных добавок..... 411

CONTENTS

REVIEWS

- Viktor I. Pakhomov, Viktor F. Khlystunov, Sergey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov*
Current state and trends of the use of vegetable feedstock in aquaculture feeds (review)..... 281
- Olga I. Zakharova, Olga A. Burova, Nadezhda N. Toropova, Ivan V. Iashin, Andrey A. Blokhin*
Highly pathogenic avian influenza in the world: vaccination strategies (review)..... 295

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Yuri A. Lapshin, Vladimir A. Maksimov, Rimma I. Zolotareva*
The influence of agroclimatic conditions and mineral fertilizers on the grain productivity of spring triticale in the conditions of Mari El Republic..... 307
- Lyudmila N. Prokina, Sergey V. Pugaev*
Yield of winter wheat depending on precursors, fertilizers and liming..... 318
- Olga V. Levakova*
Variability of the elements of spring barley yield structure depending on the hydrothermal conditions of vegetation..... 327
- Natalia A. Kovtunova, Vladimir V. Kovtunov, Aleksander E. Romanyukin, Galina M. Ermolina*
Sudan grass productivity depending on meteorological conditions..... 334
- Irina V. Mikhailova¹, Alexandra B. Khvostova¹, Leonid L. Malyshev²*
Stability and plasticity of agronomic traits in accessions of Eastern galega in the conditions of the Murmansk region..... 343

FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW

- Alexander M. Shpanev, Vasiliy V. Smuk*
The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation..... 351

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Olga V. Balun, Elena P. Shkodina, Valentina A. Yakovleva, Svetlana Yu. Zhukova*
Ecological regimes of soils of the Novgorod region drained by open drainage..... 360
- Andrey A. Artemjev, Alexander M. Guryanov*
Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass..... 369
- Alexey V. Ivenin, Alexander P. Sakov, Yulia A. Bogomolova, Tatiana S. Buzynina*
Changes in agrochemical indicators of light gray forest soil and productivity of meadow clover depending on the level of mineral nutrition against the background of the aftereffect of liming in the conditions of the South-East of the Volga-Vyatka region..... 378

ZOOTECHNY

- Oksana V. Rudenko*
Evaluation of the inbreeding effect on the milk productivity of Holstein cows..... 386
- Anastasia S. Litonina, Yulia M. Smirnova, Andrey V. Platonov*
The effect of the probiotic "Rumit" on the growth activity of black-and-white calves..... 395

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Aleksander I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazykin, Valentin Yu. Mokiev*
Substantiation of the main design parameters of the separation chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel..... 402
- Evgeny V. Avakimyan*
Theoretical background to substantiation of the parameters of mixer for protein, mineral and vitamin additives..... 411

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294>
УДК 636.085.55



Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор)

© 2022. В. И. Пахомов^{1,2}, В. Ф. Хлыстунов¹, С. В. Брагинцев^{1,2},
О. Н. Бахчевников¹✉

¹ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград,
Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,
г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Проблемой для предприятий аквакультуры является рост цен на традиционное сырье для приготовления кормов – рыбную муку и жир. Способом решения проблемы является их замена недорогими компонентами растительного происхождения. Целью исследования является обобщение и анализ научной информации по использованию в комбикормах для аквакультуры новых видов растительного сырья, технологиям их подготовки и применения, влиянию на качество корма. Выполнен отбор и систематический обзор научной литературы по теме исследования за период 2017-2022 гг. Основными видами растительного сырья для приготовления кормов в аквакультуре являются продукты переработки наземных сельскохозяйственных растений, такие как шроты масличных культур, белковые концентраты, глютен, отходы пищевой промышленности. Оптимальным вариантом для замены в рационах рыбьего жира в настоящее время являются растительные масла. Частичная или полная замена рыбной муки и жира новыми видами растительного сырья возможна и не приводит к ухудшению здоровья рыб и скорости их роста при включении этих компонентов в рацион в рекомендованных дозах. Такая замена является экономически выгодной. Но при применении растительного сырья есть и отрицательные эффекты, такие как наличие антипитательных факторов, ограничивающие его использование в аквакультуре. Разработка рецептов экономически эффективных кормов для рыб, в которых рыбная мука и жир полностью заменены растительными компонентами, является приоритетным направлением исследований, направленных на развитие интенсивной аквакультуры.

Ключевые слова: комбикорм, протеин, липиды, заменители рыбной муки, растительные масла

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «АНЦ «Донской» (тема № 0505-2022-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Пахомов В. И., Хлыстунов В. Ф., Брагинцев С. В., Бахчевников О. Н. Состояние и перспективы использования растительного сырья в кормах для аквакультуры (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):281-294. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294>

Поступила: 24.03.2022

Принята к публикации: 16.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Current state and trends of the use of vegetable feedstock in aquaculture feeds (review)

© 2022. Viktor I. Pakhomov^{1,2}, Viktor F. Khlystunov¹,
Sergey V. Braginetz^{1,2}, Oleg N. Bakhchevnikov¹✉

¹Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

²Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russian Federation

Rising prices of traditional feedstock for feed preparation (fish meal and oil) is a problem for aquaculture enterprises. Their replacement with inexpensive components of vegetable origin is the way for solving the problem. The aim of the study is to generalize and analyze scientific data on using new types of vegetable feedstock in aquaculture feeds, on technologies of their preparation and use, influence on feed quality. Selection and systematic review of scientific literature on the topic of the study for the period of 2017-2022 has been carried out. The derivatives of land agricultural plant products such as oilseed meal, protein concentrates, gluten and food industry wastes are the main types of vegetable feedstock for feed preparation in aquaculture. Currently, vegetable oils are the best variants for replacing fish oil in fish diets. Partial or complete replacement of fishmeal and oil with new types of vegetable feedstock is possible and does not lead to deterioration of fish health and growth rate when these components are included in the diet at recommended doses. Such a replacement is economically advantageous. But there are negative effects in the use of vegetable feedstock, such as the presence of anti-nutritional factors

that limit its use in aquaculture. The development of recipes of cost-effective fish feeds in which fish meal and oil are completely replaced by vegetable components is a research priority for the development of intensive aquaculture.

Keywords: *formula feed, protein, lipids, fish meal substitutes, vegetable oils*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Agricultural Research Centre Donskoy (theme No. 0505-2022-0007).

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

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

For citation: Pakhomov V. I., Khlystunov V. F., Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N. Current state and trends of the use of vegetable feedstock in aquaculture feeds (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):281-294. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.281-294>

Received: 24.03.2022

Accepted for publication: 16.05.2022

Published online: 23.06.2022

В настоящее время в аквакультуре все большее распространение получает рыбоводство интенсивного типа, предусматривающее высокую плотность содержания рыбы в искусственных водоемах и ее полную зависимость от искусственного корма [1].

Основными компонентами кормов для рыб являются рыбная мука и рыбий (рыбный) жир [1, 2]. Первая служит источником протеина, второй – липидов. Рыбную муку, содержащую 60-72 % протеина, производят путем варки, прессования, сушки и измельчения из малоценных мелких морских рыб, которые не пригодны для потребления человеком, а также отходов переработки рыбы [1]. Рыбный жир получают путем разделения на центрифуге отходов после приготовления рыбной муки [1]. Использование этих компонентов позволяет удовлетворить основные потребности рыб в питательных веществах и обеспечить их быстрый рост.

Проблемой для предприятий интенсивной аквакультуры является рост цен на традиционное сырье для приготовления кормов – рыбную муку и жир, приведший к увеличению их стоимости и снижению рентабельности производства [3, 4]. Это связано с сокращением добычи мелкой рыбы, служащей сырьем для производства рыбной муки и жира, изменением климата и чрезмерным выловом рыбы в предыдущие годы, а также опережающим ростом спроса [5]. Поставки этих компонентов в настоящее время нестабильны, а прогнозы обещают дальнейшее сокращение их производства [6, 7].

Способом решения этой проблемы является замена рыбной муки и жира в составе корма для рыб другими доступными компонентами растительного происхождения, а именно сельскохозяйственным сырьем, стабильность поставок которого не вызывает сомнения, а стоимость не растет опережающими темпами [6, 7]. Преимуществом сырья растительного происхождения является его

высокая возобновляемость и устойчивость поставки [1]. Сложность состоит в том, что эти виды сырья должны содержать определенный набор аминокислот и жирных кислот, аналогичный их содержанию в рыбной муке и жире, что требует их комбинирования в составе корма [1, 4, 8]. Новые виды сырья для аквакультурных кормов надлежит изучать с целью точного определения их состава, необходимой предварительной подготовки и возможных ограничений при включении в состав кормов для рыб.

Это обусловило необходимость выполнения научного обзора российских и иностранных статей и систематизации имеющихся сведений о новых растительных компонентах кормов для рыб, являющихся альтернативой рыбной муке и жиру, их питательной ценности, особенностях подготовки и влиянии на свойства готового корма.

Цель исследования – обобщение и анализ информации из научных статей, посвященных использованию новых видов растительного сырья в комбикормах для аквакультуры, для получения данных о технологиях их подготовки, применения и влияния на качество кормов для рыб.

Материал и методы. Отбор и систематический обзор научной литературы по теме исследования был выполнен по методике, приведенной в работах R. J. Торрасо [9] и С. Okoli [10].

Для отбора научных статей на английском языке выполнили поиск по ключевым словам в библиографических базах Google Scholar и ScienceDirect. Был осуществлен обзор содержания научных журналов по исследуемой тематике. При выборе статей для обзора приоритет отдавали источникам с большим количеством цитирования. Также были изучены пристатейные списки литературы отобранных публикаций для выявления дополнительных релевантных источников информации.

В качестве временных рамок для обзора научных публикаций был принят период 2017-2022 гг. Научные статьи, опубликованные ранее, включали в обзор лишь при отсутствии новых публикаций по конкретному аспекту темы исследования.

Основная часть. Виды растительного сырья. В качестве источника протеина в составе корма для рыб заменить рыбную муку могут различные продукты растительного происхождения (рис.) [2, 11].



Рис. Виды растительного сырья, служащие альтернативой рыбной муке и жиру в составе комбикормов для рыб: 1 – шроты масличных культур, 2 – белковые концентраты, 3 – отходы пищевой промышленности, 4 – глютен, 5 – пальмовое масло; 6 – традиционные растительные масла /

Fig. Vegetable feedstock as an alternative to fish meal and fish oil in compound feeds for aquaculture: 1 – oilseed meal, 2 – protein concentrates, 3 – food industry wastes, 4 – gluten, 5 – palm oil; 6 – traditional vegetable oils

Основными видами растительного сырья для приготовления кормов в аквакультуре являются продукты переработки наземных сельскохозяйственных растений (шроты масличных культур, белковые концентраты, глютен, отходы пищевой промышленности и др.). Оптимальным вариантом для замены в рационах рыбьего жира в настоящее время являются растительные масла (пальмовое, рапсовое, подсолнечное и др.) [12].

Шроты масличных культур. Наиболее важными белковыми компонентами растительного происхождения являются шроты из семян масличных культур, получаемые после извлечения масла из соевых бобов, хлопчатника, рапса, арахиса, семян подсолнечника [4]. Они являются недорогими и легкодоступными источниками протеина, но их использование для питания плотоядных рыб ограничено высоким содержанием крахмала и сложных углеводов, а также широкого спектра антипитательных факторов, таких как ингибиторы протеазы, фитиновая кислота, сапонины и др.

[4, 13]. Тем не менее, аминокислотный профиль масличных шротов сходен с профилем рыбной муки (табл. 1) [14].

Наибольшее использование в кормах для аквакультуры нашел соевый шрот благодаря хорошему аминокислотному профилю, легкодоступности и низкой цене [1, 15]. Установлено, что он может заменить до 30 % рыбной муки в рационе рыб, в частности лосося (*Salmo salar* L.) [16]. Но большее содержание соевого шрота в составе корма вызывает негативный эффект, отрицательно влияя на рост рыб и усвоение ими питательных веществ [17]. Это вызвано тем, что антипитательные факторы в составе шрота вызывают у рыб энтерит – повреждение слизистой оболочки кишечника [18]. Эти данные подтверждают и результаты новейших исследований. X. Liu установил, что в диете гибрида серебряного карася (*Carassius auratus gibelio*) и обыкновенного карпа (*Cyprinus carpio*) оптимальная доля соевого шрота составляет 38,5-41,8 %, а большее его содержание привело к ослаблению использования корма и ухуд-

шению показателей роста [15]. С. Zhang установил, что замена 50 % рыбной муки соевым шротом в рационе японского сибаса (*Lateolabrax japonicus*) не повлияла на показатели роста,

при большем содержании шрота наблюдалось снижение усвоения корма и активности пищеварительных ферментов, ухудшалось состояние кишечника рыб [17].

Таблица 1 – Сравнение аминокислотного профиля рыбной муки и шротов масличных культур, % (по N. Revesz и др. [4])

Table 1 – Comparison of the amino acid profile of fish meal and oilseed meal, % (N. Revesz et al. [4])

Показатель / Indicator	Рыбная мука / Fish meal	Шрот / Meal			
		соевый / soybean	хлопковый / cottonseed	рапсовый / rapeseed	подсолнечный / sunflower
Сырой протеин / Crude protein	71,2	47,7	44,3	40,6	44,1
Сырой жир / Crude fat	9,6	2,0	3,0	2,7	2,2
Незаменимые аминокислоты, (% от содержания протеина) / Essential amino acids, (% of protein content)					
Аргинин / Arginine	4,11	3,41	4,51	2,26	4,52
Гистидин / Histidine	1,76	1,26	1,15	1,09	1,18
Изолейцин / Isoleucine	3,38	2,92	1,56	1,48	2,58
Лейцин / Leucine	5,43	4,02	2,5	2,74	3,23
Лизин / Lysine	5,49	3,1	1,73	2,18	2,15
Метеонин / Methionine	2,16	0,72	0,62	0,78	1,72
Фенилаланин / Phenylalanine	3,03	2,45	2,35	1,55	2,58
Треонин / Threonine	3,0	1,92	1,44	1,72	1,72
Валин / Valine	3,81	2,53	2,05	1,96	2,58

Хлопковый шрот (побочный продукт производства хлопкового масла) также имеет значительное содержание протеина [19]. Но его применение ограничивает высокое содержание токсичного вещества – госсипола [20]. В то же время, исследования М. Yildirim показали, что для канального сома (*Ictalurus punctatus*) госсипол является сильным природным антиоксидантом, улучшая его иммунные реакции и устойчивость к болезням [21]. Кроме того, несмотря на высокое содержание протеина, для хлопкового шрота характерно низкое содержание лизина и метионина [22]. Эти факторы ограничивают применение этого вида сырья в кормах для рыб.

Рапсовый шрот является возможной заменой рыбной муке в составе комбикорма для рыб [23]. Но его применение также ограничено из-за наличия антипитательных факторов. По сообщению F. Wu, его содержание в корме для нильской тилпии (*Oreochromis niloticus*) не должно превышать 22 % [23], тогда как Е. А. Sallam сообщает о максимально приемлемом содержании в 10 % [24]. Более

высокое содержание этого шрота в корме приводит к негативным последствиям для организма рыб [23, 24].

Подсолнечный шрот обладает высокими вкусовыми качествами для рыбы и имеет низкое содержание антипитательных факторов, обладает хорошей усвояемостью протеина, а также имеет более низкую стоимость по сравнению с другими шротами [25]. Значительным недостатком этого вида корма является высокое содержание плохо усваиваемых структурных углеводов (клетчатка и лигнин), что снижает его энергетическую ценность [4, 26]. Тем не менее, он находит применение в аквакультуре. R. B. Christopher сообщает, что подсолнечный шрот может заменить соевый в рационе нильской тилпии (30 % рациона) без негативных последствий [26]. К. J. Rahmdel установил, что замена рыбной муки подсолнечным шротом в рационе карпа обыкновенного (*Cyprinus carpio*) на уровне до 75 % не оказывает негативного влияния на его рост и состав туши [27]. Таким образом, несмотря на то, что подсолнечный шрот уступает по содержанию аминокислот

не только рыбной муке, но и соевому шроту, он находит применение в кормах для рыб по причине более низкой цены, особенно в России и Казахстане [28].

В странах Африки в качестве заменителя рыбной муки используют арахисовый шрот. Он имеет высокое содержание белка (45,6 % сырого протеина). Но его применение сдерживает низкое содержание лизина – 1,62 % от общего протеина, что намного ниже его содержания в других масличных шротах [4]. Другим его недостатком является значительное поражение грибом *Aspergillus flavus*, продуцирующим афлатоксин [29]. Тем не менее, ряд ученых сообщает о положительных эффектах применения арахисового шрота в аквакультуре. В частности, U. Асаг заявляет, что этот шрот может быть эффективно использован для замены до 10 % рыбной муки в рационе радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) без каких-либо негативных последствий для ее роста, использования корма и биохимических параметров крови [30].

Таким образом, использование шротов масличных культур в качестве заменителя рыбной муки является перспективным, но их применение ограничено по причине наличия в их составе антипитательных факторов и структурных углеводов.

Перспективным способом повышения питательной ценности и снижения содержания антипитательных факторов в растительных источниках белка для аквакультуры является их ферментация, которая осуществляется путем инокуляции определенных микроорганизмов (бактерии, грибы) в сырье [31]. Ферментированные корма показали лучшую эффективность использования питательных веществ и могут повысить питательную ценность аквакормов [31, 32]. В процессе ферментации антипитательные факторы разрушаются, а биоактивные компоненты, такие как пептиды, органические кислоты, пробиотики и флавоноиды, вырабатываются [31]. Чаще всего ферментации подвергают шроты, особенно соевый, содержание белка в котором после обработки повышается на 10 % [32]. Н. Yang установил, что ферментированный соевый шрот может заменить 35 % рыбной муки в рационе большеротого окуня (*Micropterus salmoides*) [33]. Недостатком этого вида сырья является повышение его стоимости по сравнению с исходным за счет дополнительной обработки.

Протеиновые концентраты. Белковые концентраты, приготовленные путем переработки таких культур, как соя, горох, рапс, подсолнечник, а также кукурузный и пшеничный глютен могут быть конкурентоспособными альтернативами рыбной муки [6, 34]. Эти продукты имеют пониженное содержание антипитательных факторов и повышенную перевариваемость по сравнению с исходным растительным продуктом, а главное, содержание протеина в них значительно выше [4, 14].

Протеиновые концентраты, содержащие 60-85 % белка, вырабатывают в процессе спиртовой экстракции растительных продуктов, в частности шротов, в ходе которой из них удаляются антипитательные факторы и углеводы, в том числе клетчатка. Наибольшее применение в кормопроизводстве нашел соевый белковый концентрат, включающий 60-70 % сырого протеина и имеющий сбалансированный аминокислотный профиль [34, 35]. Установлено, что атлантический лосось (*Salmo salar*), в рационе которого 75 % общего белка заменено соевым белковым концентратом, показывает более быстрый рост, по сравнению с рационом, основанным на рыбной муке без риска развития кишечного энтерита [36, 37]. Результаты новейших исследований показывают, что соевый протеиновый концентрат может с успехом применяться и в рационах других видов рыб. Так, J. Zhang сообщает об успешной замене рыбной муки концентратом соевого белка в рационе молоди рисового угря (*Monopterus albus*) в количестве 26 % рациона [38], а N. Mohd Faudzi заявляет о возможности использования до 50 % этого корма в рационе гибрида группера (*Epinephelus*) [39].

Проводятся исследования по применению в аквакультуре и иных видов протеиновых концентратов. Одним из таких видов сырья является гороховый белковый концентрат [13, 35]. F. P. Willora установил, что смесь соевого и горохового белкового концентрата может заменить до 50 % рыбной муки в рационе молоди пинагора (*Cyclopterus lumpus*) без каких-либо негативных последствий для ее роста и состава туши [40]. G. Ye сообщает, что возможна замена 60 % рыбной муки на хлопковый белковый концентрат в рационе гибрида группера (*Epinephelus*) без отрицательных эффектов [41].

Таким образом, протеиновые концентраты являются перспективным видом кормового сырья. Но из-за высокой стоимости их производства, применение концентратов раститель-

ного белка в настоящее время еще не является полностью экономически целесообразным, поэтому они мало используются в качестве кормовых ингредиентов в аквакультуре [14].

Еще более высокое содержание протеина имеют продукты более глубокой переработки растительного сырья – изоляты (85-95 %) и гидролизаты (более 95 %) [35]. Эти виды сырья являются перспективными, так как содержат максимальное количество переваримого белка, но их применению препятствует очень высокая стоимость, значительно большая, чем у концентратов, и превышающая цену рыбной муки [35]. Применению этих продуктов в аквакультуре посвящено небольшое количество исследований. В частности, В. Glencross установил, что переваримость соевого изолята была выше, чем у концентрата, когда он был заменен на 40 % рыбной мукой в корме для радужной форели (*Oncorhynchus mykiss*) [42]. Т. А. Муранова сообщает, что соевый белковый гидролизат может быть применен в стартовых кормах для аквакультуры [43].

Еще одним потенциальным видом сырья для аквакультуры с высоким содержанием белка является клейковина (глутен), получаемая при переработке зерна пшеницы, кукурузы и других зерновых культур и содержащая 60-65 % протеина с хорошим аминокислотным профилем [8, 14]. Результаты исследований показывают, что глутен может быть включен в корма для рыб в качестве замены рыбной муки самостоятельно либо совместно с вышеописанными видами растительного сырья [4, 6]. Так, V. I. Kaur и P. K. Saxena пришли к выводу, что рыбная мука может быть заменена в рационе рыбы кукурузным глутеном на уровне 25 % без ущерба для ее роста [44]. В. Glencross установил, что включение кукурузного и пшеничного глутенов в корм для атлантического лосося (*Salmo salar*) оказало положительное влияние на скорость его роста, при этом пшеничный глутен имел лучшие характеристики переваримости, чем кукурузный [45]. А. Zaretabar сообщил, что замена рыбной муки в рационе каспийского лосося (*Salmo trutta caspius*) смесью концентрата ячменного белка (330 г/кг) и пшеничного глутена (40 г/кг) оказала положительное влияние на скорость роста рыбы [46]. Но высокая стоимость препятствует активному использованию этого вида сырья.

В целом можно сделать вывод, что достоинства и недостатки шротов (низкая стоимость, но содержание антипитательных

факторов) и белковых концентратов (отсутствие вредных веществ, но высокая цена) позволяют достигать хороших результатов при их совместном использовании в составе кормов для рыб, что подтверждают результаты некоторых исследований [14, 47, 48].

Продукты переработки люцерны. Перспективным, но пока мало используемым источником протеина для кормов в аквакультуре является люцерна (*Medicago sativa* L.) [49]. Из зеленой массы люцерны получают белковый концентрат путем выделения, очистки и сушки сока. Концентрат содержит 520 г/кг сырого протеина с высоким содержанием лизина, треонина и метионина, имеет высокое содержание витаминов и антиоксидантов, таких как каротиноиды, а также низкое содержание клетчатки [50]. Концентрат из люцерны нашел применение в животноводстве [49], но его влияние на рыб еще мало исследовано.

Тем не менее, имеющиеся немногочисленные исследования показывают положительное влияние этого вида корма на организм рыб. J. Coburn сообщает, что желтый окунь (*Perca flavescens*), в рацион которого ввели 180 г/кг протеинового концентрата люцерны, заменившего рыбную муку, имел более низкую скорость роста, но более высокую конверсию корма – +0,32 г корма/г прироста, чем рыба на контрольном рационе с рыбной мукой [50]. J. Rechulicz установил, что включение в состав корма для карпа (*Cyprinus carpio*) 5 % белкового концентрата люцерны оказало положительное влияние на скорость его роста [51]. М. А. Olvera-Novoa установил, что концентрат люцерны может с успехом заменить до 35 % рыбной муки в рационе тилапии (*Oreochromis mossambicus*), увеличив скорость ее роста, но более высокое его содержание замедляет рост рыбы [52].

D. M. Halbos исследовал влияние на рыбу не белкового концентрата, а высушенной зеленой массы люцерны, т. е. травяной муки, являющейся более дешевым сырьем [53]. Он установил, что включение в рацион карпа 10 % травяной муки не оказало отрицательного влияния и обеспечило более высокую скорость роста по сравнению с рационами 5 и 0 % травяной муки.

Таким образом, белковый концентрат из люцерны является перспективным видом корма для рыб, способным заменить в рационе часть рыбной муки, а травяная мука может быть включена в рацион всеядных рыб.

Побочные продукты производства спирта. Перспективным видом сырья для аквакультуры является побочный продукт производства спирта из зерна пшеницы, кукурузы и других видов зерна, получаемый в результате его ферментации и последующей дистилляции [54]. В России этот продукт принято называть сухая барда, за рубежом принято обозначение DDGS (Dried Distiller's Grain with Solubles – сухое сброженное зерно с растворимыми веществами). Продукт содержит 23-30 % протеина, а также является хорошим источником жира – 9 %, фосфора и витаминов, имея невысокую стоимость [54], что позволяет использовать сухую барду в аквакультуре в качестве замены рыбной муки.

Е. Li и соавторы установили, что сухую барду из кукурузы можно включать в рацион канального сомика (*Ictalurus punctatus*) в количестве 30 % без ущерба для показателей роста и эффективности использования корма, причем ее доля может быть увеличена до 40 % при условии добавления лизина [55]. Они также установили, что барду из пшеницы можно включать в рацион сомика в количестве 20 %, а при добавлении лизина – 40 %.

К. R. Oliveira установил, что сухая барда из кукурузы может полностью заменить соевый шрот в рационе молоди паку (*Piaractus mesopotamicus*), снизив стоимость корма [56]. Ее введение в рацион в количестве до 40 % положительно повлияло на конверсию корма и усвояемость протеина. С. Lim и М. Н. Li получили аналогичные результаты [57, 58].

Но сухая барда имеет и негативные свойства, в частности, высокое содержание клетчатки, что ограничивает ее применение в рационе рыб [54]. Кроме того, кукурузная барда содержит желтый пигмент ксантофилл, который может, при систематическом использовании этого корма, окрасить филе рыбы в желтый цвет, что нежелательно [59].

Таким образом, сухая барда из зерна также может служить недорогим источником протеина в составе корма для рыб, но для повышения эффективности ее нужно дополнять лизином.

Побочные продукты производства пива. При приготовлении пивного сусла из зерна ячменя отходом является пивная дробина, которую используют на корм в высушенном виде. Она содержит 19-22 % протеина. Сравнительно низкое содержание белка обуславливает необходимость ее включения в рацион

для замены рыбной муки совместно с другими видами растительного сырья с высоким содержанием протеина, например шротом [60]. По этой причине ее применение в аквакультуре пока незначительно. V. I. Kaur сообщает о том, что пивная дробина может быть с положительным эффектом включена в рацион различных рыб в количестве до 30 % [61]. D. San Martin установил, что добавление дробины в корм для дорады (*Sparus aurata*) обеспечило хорошую переваримость белка [62]. А. Estévez также сообщает об эффективности включения дробины в рацион дорады в количестве до 30 %, при этом переваримость белка была на уровне 89-95 % [63]. Это позволяет заключить, что пивная дробина имеет высокий потенциал применения в качестве недорогого источника протеина для аквакультуры.

Побочные продукты производства сахара. Среди отходов пищевой промышленности значительное место занимают отходы производства сахара – меласса (патока) и жом. Это дешевое сырье, получаемое при переработке сахарной свеклы и тростника, также имеет потенциал для использования в аквакультуре.

Использование мелассы (патоки) в кормах ограничено из-за высокой вязкости и слабительного действия. Но в небольших количествах (до 5 %) она может быть использована как связующее вещество при смешивании компонентов комбикорма, а также источник энергии. R. Singh успешно использовал тростниковую мелассу в количестве 5 % в составе комбикорма для карпа как связующее вещество [64].

Сухой жом содержит 7-10 % протеина и является более перспективным для применения в аквакультуре. R. Singh установил, что доля тростникового жома в рационе карпа может достигать 50 % без отрицательного влияния на темп его роста [64]. N. Sharma установил, что включение тростникового жома в рацион мальков индийского карпа (*Catla catla* Ham.) в количестве до 30 % обеспечило хороший темп роста и высокую выживаемость рыб [65].

Таким образом, сухой жом является перспективным кормовым сырьем для аквакультуры по причине низкой стоимости и достаточной питательной ценности.

Растительные масла. В настоящее время растительные масла считаются наиболее устойчивой альтернативой для замены рыбьего жира в составе аквакормов благодаря постоянно растущему их производству, высокой

доступности и стабильным ценам [6]. Наиболее распространенными растительными маслами, используемыми для производства кормов для рыб, являются соевое, рапсовое, подсолнечное и оливковое [6]. В настоящее время увеличивается использование в аквакультуре паль-

мового масла [6, 66]. Но замена рыбьего жира в составе корма на традиционные растительные масла может быть только частичной, так как они не могут полностью удовлетворить потребности рыб в незаменимых жирных кислотах (табл. 2) [6, 67].

Таблица 2 – Сравнение профиля жирных кислот рыбьего жира и растительных масел, % /
Table 2 – Comparison of the fatty acid profile of fish oil and vegetable oils, %

Показатель / Indicator	Рыбий жир / Fish oil	Масло / Oil			
		пальмовое / palm	подсолнечное / sunflower	соевое / soybean	рапсовое / rapeseed
Каприловая кислота (10:0) / Capric acid (10:0)	–	0,48	–	–	0,56
Лауриновая кислота (12:0) / Lauric acid (12:0)	0,7	–	0,1	0,09	0,59
Пальмитиновая кислота (16:0) / Palmitic acid (16:0)	8,2	41,6	6,3	11,1	4,04
Стеариновая кислота (18:0) / Stearic acid (18:0)	2,05	3,6	3,55	3,7	2,1
Олеиновая кислота (18:1) / Oleic acid (18:1)	12,2	40,4	21,4	22,6	57,3
Пальмитолеиновая кислота (16:1) / Palmitoleic acid (16:1)	6,4	0,2	0,1	0,18	0,1
Арахидиновая кислота (20:0) / Arachidic acid (20:0)	–	0,3	0,3	0,3	0,4
Насыщенные кислоты / Saturated acids	15	48,9	11,2	15,7	7,1
Ненасыщенные кислоты / Unsaturated acids	84	50,3	88,7	80,4	88,8

Результаты многих исследований показывают, что оптимальной является замена в составе корма 50-60 % рыбьего жира на растительное масло, дающее такие же результаты, как и рацион, содержащий 100 % рыбьего жира [67, 68, 69]. Использование традиционного растительного масла в рационе на уровне более 60 % приводит к негативным последствиям для организма рыб [69, 70]. Из традиционных растительных масел весьма эффективным в питании рыб является соевое [6, 71]. Наилучший эффект дает включение в корм оливкового масла, но его применение сдерживает высокая стоимость [72].

Новым недорогим и перспективным источником жиров для рыб является пальмовое масло, имеющее содержание жирных кислот, сходное с животными жирами. По сообщениям многих ученых, рацион с пальмовым маслом обеспечивает такую же скорость роста рыб и эффективность использования корма, как корм с эквивалентным количеством рыбьего жира [6]. При этом пальмовое масло, по мнению

некоторых исследователей, может полностью заменить рыбий жир в рационе без негативных последствий [6, 73]. Например, С. Larbi Ayisi сообщает об отсутствии негативных последствий при замене 100 % рыбьего жира в рационе нильской тиляпии пальмовым маслом [73].

Таким образом, оптимальной стратегией является замена 50-60 % рыбьего жира в рационе рыб традиционными растительными маслами, либо его замена на 80-100 % пальмовым маслом.

Положительные и отрицательные эффекты использования растительного сырья. Как было показано выше, частичная или полная замена рыбной муки и жира новыми видами растительного сырья возможна и не приводит к ухудшению здоровья рыб и скорости их роста при включении этих компонентов в рацион в рекомендованных дозах.

Положительными экономическими эффектами замены рыбной муки и рыбьего жира в составе кормов на растительные виды сырья являются их более низкая стоимость, стабильность поставок, больший выбор разных видов

сырья и его поставщиков и, соответственно, возможность быстрой и легкой замены поставщиков сырья и его видов [74, 75]. Кроме того, в отличие от рыбной муки и жира, альтернативные растительные компоненты кормов, как правило, производят в той же местности, где находится аквакультурное предприятие, что снижает транспортные издержки [75]. Эти факторы способствуют увеличению рентабельности предприятий аквакультуры в силу уменьшения себестоимости их продукции (товарной рыбы и продуктов ее переработки) за счет снижения стоимости комбикормов. Особенно экономически эффективным является включение в состав кормов дешевых побочных продуктов пищевой промышленности и частичная замена ими более дорогостоящих рыбной муки, шротов и белковых концентратов [76].

Но при применении растительного сырья есть и отрицательные эффекты, ограничивающие его использование в аквакультуре. Одним из них является высокое содержание различных антипитательных факторов, отрицательно влияющих на здоровье и производительность рыб. Следовательно, при использовании растительного сырья необходима его предварительная обработка с целью нейтрализации вредных веществ [77]. Так как многие антипитательные вещества (лектины, ингибиторы протеазы и амилазы) являются термолабильными, то их возможно нейтрализовать предварительной тепловой обработкой [78]. Эффективным способом снижения содержания антипитательных факторов и повышения переваримости растительного сырья является его экструдирование [79]. Для нейтрализации термостабильных антипитательных веществ существуют другие способы обработки [77]. В частности, возможна ферментативная обработка растительных ингредиентов (например, удаление фитатов с помощью фитазы), что повышает питательные качества таких кормов [80]. Однако некоторые антипитательные факторы, такие как фитиновая кислота, остаются в сырье и после обработки [77].

Дисбаланс в составе питательных веществ является еще одним недостатком растительных ингредиентов кормов [76, 77]. Это ограничение проявляется в профиле аминокислот и жирных кислот в сырье. Аминокислотный профиль растительных ингредиентов не полностью компенсирует потребность рыбы в незаменимых аминокислотах, в отличие от

рыбной муки [75]. Например, продукты переработки сои имеют повышенное содержание лизина, но дефицит метионина и цистеина, а кукурузный глютен – пониженное содержание лизина, но высокое – метионина [77]. Этот недостаток можно компенсировать комбинированным использованием нескольких растительных ингредиентов для коррекции баланса незаменимых аминокислот в корме. В качестве примера можно привести успешные опыты по замене рыбной муки смесью кукурузного глютена и соевого шрота [4, 77]. Но такое комбинирование может быть затруднено из-за взаимодействия различных антипитательных факторов в растительных ингредиентах.

Профиль жирных кислот в составе растительных масел также не совпадает с профилем рыбьего жира [6, 77]. Эти масла содержат мало незаменимых полиненасыщенных жирных кислот [77]. В то же время растительные масла, особенно пальмовое, содержат большее количество насыщенных жирных кислот, что приводит к снижению переваримости корма при низких температурах воды [73, 77]. Это ограничивает широкое использование растительных масел, особенно в аквакультуре умеренных широт.

При производстве комбикормов для аквакультуры следует учитывать, что растительные компоненты, являющиеся побочными продуктами промышленности, в ходе производственного процесса подвергаются термической обработке, что приводит к денатурации белков, их окислению и связыванию с другими веществами и может снизить биодоступность незаменимых аминокислот для рыбы [79, 80].

Значительной проблемой является загрязнение продукции растениеводства пестицидами и микотоксинами [77, 81]. Правильное хранение растительных ингредиентов, постоянный мониторинг и лабораторный контроль качества, а также оценка рисков необходимы для того, чтобы избежать загрязнения кормов этими внешними токсинами [81].

Заключение. На сегодняшний день возможность создания и использования кормов для рыб, в которых рыбная мука и жир полностью заменены растительными компонентами стала реальностью. Многие ученые считают, что рыбная мука уже в ближайшем будущем перестанет быть обязательным компонентом комбикормов для аквакультуры, что позволит повысить рентабельность выращивания рыбы. Хотя существуют и проблемы при расширении

использования растительных ингредиентов, многие авторы утверждают, что благодаря правильной тактике составления рациона и комбинированию в его составе различных видов растительного сырья рыбу можно кормить растительными белками и жирами без каких-либо негативных последствий.

Для более эффективного использования растительного сырья необходимо провести дополнительные исследования для поиска наилучших способов нейтрализации и удаления антипитательных факторов и иных вредных веществ. Также необходимо точно установить предельное содержание каждого вида растительных компонентов в корме для конкретного вида рыб, что позволит исключить негативное влияние на их рост и состояние. Важно также

определить наилучшие комбинации растительных компонентов, позволяющие избежать недостатка определенных незаменимых аминокислот в рационе.

Производители кормов заинтересованы в их приготовлении с наименьшими затратами. Поэтому растительные ингредиенты необходимо ранжировать в соответствии с их стоимостью и приоритетные исследования должны быть сосредоточены на более дешевых видах сырья.

Таким образом, разработка рецептов экономически эффективных кормов для рыб, в которых рыбная мука и жир полностью заменены растительными компонентами, является приоритетным направлением развития интенсивной аквакультуры.

References

1. Salin K. R., Arun V. V., Mohanakumaran Nair C., Tidwell J. H. Sustainable aquafeed. In: Hai F., Visvanathan C., Boopathy R. (eds) Sustainable Aquaculture. Applied Environmental Science and Engineering for a Sustainable Future. Springer, Cham. 2018. pp. 123-151. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-73257-2_4
2. Yue K., Shen Y. An overview of disruptive technologies for aquaculture. Aquaculture and Fisheries. 2022;7(2):111-120. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.04.009>
3. Kim S. W., Less J. F., Wang L., Yan T., Kiron V., Kaushik S. J., Lei X. G. Meeting global feed protein demand: challenge, opportunity, and strategy. Annual Review of Animal Biosciences. 2019;7(1):221-243. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-030117-014838>
4. Revesz N., Biro J. Recent trends in fish feed ingredients – mini review. Acta Agraria Kaposváriensis. 2019;23(1):32-47. DOI: <https://doi.org/10.31914/aak.2286>
5. Olsen R. L., Hasan M. R. A limited supply of fishmeal: Impact on future increases in global aquaculture production. Trends in Food Science & Technology. 2012;27(2):120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2012.06.003>
6. Hodar A. R., Vasava R. J., Mahavadiya D. R., Joshi N. H. Fish meal and fish oil replacement for aqua feed formulation by using alternative sources: A review. Journal of Experimental Zoology India. 2020;23(1):13-21. URL: <https://vk.cc/cbMKaC>
7. Singh P., Paul B. N., Giri S. S. Potentiality of new feed ingredients for aquaculture: A review. Agricultural Reviews. 2018;39(4):282-291. DOI: <https://doi.org/10.18805/ag.r-1819>
8. Gasco L., Gai F., Maricchiolo G., Genovese L., Ragonese S., Bottari T., Caruso G. Fishmeal alternative protein sources for aquaculture feeds. In: Feeds for the Aquaculture Sector. SpringerBriefs in Molecular Science. Springer, Cham. 2018. pp. 1-28. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-319-77941-6_1
9. Torraco R. J. Writing integrative literature reviews: Using the past and present to explore the future. Human Resource Development Review. 2016;15(4):404-428. DOI: <https://doi.org/10.1177/1534484316671606>
10. Okoli C. A guide to conducting a standalone systematic literature review. Communications of the Association for Information Systems. 2015;37:879-910. DOI: <https://doi.org/10.17705/1cais.03743>
11. Hua K., Cobcroft J. M., Cole A., Condon K., Jerry D. R., Mangott A., Strugnell J. M. The future of aquatic protein: implications for protein sources in aquaculture diets. One Earth. 2019;1(3):316-329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.oneear.2019.10.018>
12. Nasopoulou C., Zabetakis I. Benefits of fish oil replacement by plant originated oils in compounded fish feeds. A review. LWT. 2012;47(2):217-224. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2012.01.018>
13. Øverland M., Sørensen M., Storebakken T., Penn M., Kroghdahl A., Skrede A. Pea protein concentrate substituting fish meal or soybean meal in diets for Atlantic salmon (*Salmo salar*) - Effect on growth performance, nutrient digestibility, carcass composition, gut health, and physical feed quality. Aquaculture. 2009;288(3-4):305-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.12.012>
14. Jia S., Li X., He W., Wu G. Protein-sourced feedstuffs for aquatic animals in nutrition research and aquaculture. In: Wu G. (eds) Recent Advances in Animal Nutrition and Metabolism. Advances in Experimental Medicine and Biology, vol 1354. Springer, Cham. 2022. pp. 237-261. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1_12
15. Liu X., Han B., Xu J., Zhu J., Hu J., Wan W., Miao S. Replacement of fishmeal with soybean meal affects the growth performance, digestive enzymes, intestinal microbiota and immunity of *Carassius auratus gibelio*♀ × *Cyprinus carpio*♂. Aquaculture Reports. 2020;18:100472. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100472>

16. Carter C., Hauler R. Fish meal replacement by plant meals in extruded feeds for Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*. 2000;185(3-4):299-311. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00353-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00353-1)
17. Zhang C., Rahimnejad S., Wang Y., Lu K., Song K., Wang L., Mai K. Substituting fish meal with soybean meal in diets for Japanese seabass (*Lateolabrax japonicus*): Effects on growth, digestive enzymes activity, gut histology, and expression of gut inflammatory and transporter genes. *Aquaculture*. 2018;483:173-182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.10.029>
18. Krogdahl A., Gajardo K., Kortner T. M., Penn M., Gu M., Berge G. M., Bakke A. M. Soya saponins induce enteritis in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2015;63:3887-3902. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf506242t>
19. Emre N., Güroy D., Yalın F. B., Emre Y., Güroy B., Mantoğlu S., Karadal O. Growth performance, body composition, haematological and serum parameters to fish meal replacement by soybean meal and cottonseed meal in Russian Sturgeon (*Acipenser gueldenstaedtii*). *LIMNOFISH - Journal of Limnology and Freshwater Fisheries Research*. 2018;4(3):169-176. DOI: <https://doi.org/10.17216/LimnoFish.460773>
20. Rinchard J., Mbahinzireki G., Dabrowski K., Lee K.-J., Garcia-Abiado M.-A., Ottobre J. Effects of dietary cottonseed meal protein level on growth, gonad development and plasma sex steroid hormones of tropical fish tilapia *Oreochromis* sp. *Aquaculture International*. 2002;10(1):11-28. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1021379328778>
21. Yildirim M., Lim C., Wan P. J., Klesius P. H. Growth performance and immune response of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing graded levels of gossypol-acetic acid. *Aquaculture*. 2003;219(1-4):751-768. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(03\)00062-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(03)00062-0)
22. Cheng Z. J., Hardy R. W. Apparent digestibility coefficients and nutritional value of cottonseed meal for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*. 2002;212(1-4):361-372. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(02\)00260-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(02)00260-0)
23. Wu F., Tian J., Yu L., Wen H., Jiang M., Lu X. Effects of dietary rapeseed meal levels on growth performance, biochemical indices and flesh quality of juvenile genetically improved farmed tilapia. *Aquaculture Reports*. 2021;20:100679. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100679>
24. Sallam E. A., Matter A. F., Mohammed L. S., Azam A. E., Shehab A., Mohamed Soliman M. Replacing fish meal with rapeseed meal: potential impact on the growth performance, profitability measures, serum biomarkers, antioxidant status, intestinal morphometric analysis, and water quality of *Oreochromis niloticus* and *Sarotherodon galilaeus* fingerlings. *Veterinary Research Communications*. 2021;45(4):223-241. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11259-021-09803-5>
25. Mérida S. N., Tomás-Vidal A., Martínez-Llorens S., Cedrá M. J. Sunflower meal as a partial substitute in juvenile sharpsnout sea bream (*Diplodus puntazzo*) diets: Amino acid retention, gut and liver histology. *Aquaculture*. 2010;298(3-4):275-281. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.10.025>
26. Christopher R. B., Ahilan B., Cheryl A., Samuel M. Sunflower meal as an alternative protein source to replace soybean meal in the diet of GIFT strain of Nile tilapia *Oreochromis niloticus*. *Indian Journal of Fisheries*. 2020;67(3):82-88. DOI: <https://doi.org/10.21077/ijf.2020.67.3.91750-09>
27. Rahmdel K. J., Noveirian H. A., Falahatkar B., Lashkan A. B. Effects of replacing fish meal with sunflower meal on growth performance, body composition, hematological and biochemical indices of common carp (*Cyprinus carpio*) fingerlings. *Fisheries & Aquatic Life*. 2018;26(2):121-129. DOI: <https://doi.org/10.2478/aopf-2018-0013>
28. Бектурсунова М. Ж., Жиенбаева С. Т., Сидорова В. И., Январева Н. И. Разработка технологии производства стартовых экструдированных кормов для молод и рыб. *Вестник Алматинского технологического университета*. 2021;(4):10-16. DOI: <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2021-4-10-16>
29. Bektursunova M. J., Zhiyenbayeva S. T., Sidorova V. I., Yanvareva N. I. Development of production technology for extruded starter compound feeds for juvenile fish. *Vestnik Almatinskogo tekhnologicheskogo universiteta = The Journal of Almaty Technological University*. 2021;(4):10-16. (In Kazakhstan). DOI: <https://doi.org/10.48184/2304-568X-2021-4-10-16>
30. Marroquín-Cardona A. G., Johnson N. M., Phillips T. D., Hayes A. W. Mycotoxins in a changing global environment - A review. *Food and Chemical Toxicology*. 2014;69:220-230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2014.04.025>
31. Acar Ü., Türker A. The effects of using peanut meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) diets on the growth performance and some blood parameters. *Aquaculture Studies*. 2018;18(2):79-87. DOI: http://doi.org/10.4194/2618-6381-v18_2_02
32. Dawood M. A., Koshio S. Application of fermentation strategy in aquafeed for sustainable aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 2020;12(2):987-1002. DOI: <http://doi.org/10.1111/raq.12368>
33. Mukherjee R., Chakraborty R., Dutta A. Role of fermentation in improving nutritional quality of soybean meal – a review. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*. 2016;29(11):1523. DOI: <https://doi.org/10.5713/ajas.15.0627>
34. Yang H., Bian Y., Huang L., Lan Q., Ma L., Li X., Leng X. Effects of replacing fish meal with fermented soybean meal on the growth performance, intestinal microbiota, morphology and disease resistance of largemouth bass (*Micropterus salmoides*). *Aquaculture Reports*. 2022;22:100954. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100954>
35. Hekmatpour F., Mozanzadeh M. T. Legumes, Sustainable Alternative Protein Sources for Aquafeeds. In: D. J. Carlos, D. A. Clemente (Eds.) *Legumes*. London: IntechOpen, 2021. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.99778>
36. Li P., Wu G. Composition of amino acids and related nitrogenous nutrients in feedstuffs for animal diets. *Amino Acids*. 2020;52:523-542. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-020-02833-4>

36. Storebakken T., Shearer K. D., Roem A. J. Growth, uptake and retention of nitrogen and phosphorus, and absorption of other minerals in Atlantic salmon *Salmo salar* fed diets with fish meal and soy-protein concentrate as the main sources of protein. *Aquaculture Nutrition*. 2000;6(2):103-108. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.2000.00135.x>
37. Refstie S., Storebakken T., Baeverfjord G., Roem A. J. Long-term protein and lipid growth of Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed diets with partial replacement of fish meal by soy protein products at medium or high lipid level. *Aquaculture*. 2001;193(1-2):91-106. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00473-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00473-7)
38. Zhang J., Zhong L., Peng M., Chu W., Liu Z., Dai Z., Hu Y. Replacement of fish meal with soy protein concentrate in diet of juvenile rice field eel *Monopterus albus*. *Aquaculture Reports*. 2019;15:100235. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2019.100235>
39. Mohd Faudzi N., Yong A. S. K., Shapawi R., Senoo S., Biswas A., Takii K. Soy protein concentrate as an alternative in replacement of fish meal in the feeds of hybrid grouper, brown-marbled grouper (*Epinephelus fuscoguttatus*) × giant grouper (*E. lanceolatus*) juvenile. *Aquaculture Research*. 2018;49(1):431-441. DOI: <https://doi.org/10.1111/are.13474>
40. Willora F. P., Nadasabesan N., Knutsen H. R., Liu C., Sørensen M., Hagen Ø. Growth performance, fast muscle development and chemical composition of juvenile lumpfish (*Cyclopterus lumpus*) fed diets incorporating soy and pea protein concentrates. *Aquaculture Reports*. 2020;17:100352. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2020.100352>
41. Ye G., Dong X., Yang Q., Chi S., Liu H., Zhang H., Tan B., Zhang S. Low-gossypol cottonseed protein concentrate used as a replacement of fish meal for juvenile hybrid grouper (*Epinephelus fuscoguttatus* ♀ × *Epinephelus lanceolatus* ♂): Effects on growth performance, immune responses and intestinal microbiota. *Aquaculture*. 2020;524:735309. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2020.735309>
42. Glencross B., Evans D., Dods K., McCafferty P., Hawkins W., Maas R. Evaluation of the digestible value of lupin and soybean protein concentrates and isolates when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using either stripping or settlement faecal collection methods. *Aquaculture*. 2005;245(1-4):211-20. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2004.11.033>
43. Muranova T. A., Zinchenko D. V., Miroshnikov A. I. Hydrolysates of soybean proteins for starter feeds of aquaculture: the behavior of proteins upon fermentolysis and the compositional analysis of hydrolysates. *Russian Journal of Bioorganic Chemistry*. 2019;45(3):195-203. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1068162019030038>
44. Kaur V. I., Saxena P. K. Incorporation of maize gluten in supplementary feed and its impact on growth and flesh quality of some carps. *Aquaculture International*. 2005;13:555-573. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-005-7995-4>
45. Glencross B., Grobler T., Huyben D. Digestible nutrient and energy values of corn and wheat glens fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*) are affected by feed processing method. *Aquaculture*. 2021;544:737133. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737133>
46. Zaretabar A., Ouraji H., Kenari A. A., Yeganeh S., Esmaili M., Amirkolaei A. K. One step toward aquaculture sustainability of a carnivorous species: Fish meal replacement with barley protein concentrate plus wheat gluten meal in Caspian brown trout (*Salmo trutta caspius*). *Aquaculture Reports*. 2021;20:100714. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100714>
47. Rodiles A., Herrera M., Hachero-Cruzado I., Ruiz-Jarabo I., Mancera J. M., Cordero M. L., Lall S. P., Alarcón F. J. Tissue composition, blood biochemistry and histology of digestive organs in Senegalese sole (*Solea senegalensis*) juveniles fed diets containing different plant protein ingredients. *Aquaculture Nutrition*. 2015;21(6):767-779. DOI: <https://doi.org/10.1111/anu.12207>
48. Alessio B., Parma L., Mandrioli L., Sirri R., Fontanillas R. Increasing dietary plant proteins affects growth performance and ammonia excretion but not digestibility and gut histology in turbot (*Psetta maxima*) juveniles. *Aquaculture*. 2011;318(1-2):101-108. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.05.003>
49. Gawel E., Grzelak M. The effect of a protein-xanthophyll concentrate from alfalfa (phytobiotic) on animal production – A current review. *Annals of Animal Science*. 2012;12:281-289. DOI: <https://doi.org/10.2478/v10220-012-0023-5>
50. Coburn J., Wells M. S., Phelps N. B., Gaylord T. G., Samac D. A. Acceptance of a Protein Concentrate from Alfalfa (*Medicago sativa*) by Yellow Perch (*Perca flavescens*) Fed a Formulated Diet. *Fishes*. 2021;6(2):9. DOI: <https://doi.org/10.3390/fishes6020009>
51. Rechulicz J., Ognik K., Grela E. R. The effect of adding protein-xanthophylls concentrate (PX) from lucerne (*Medicago sativa*) on growth parameters and redox profile in muscles of carp, *Cyprinus carpio* (L.). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2014;14:697-703. DOI: https://doi.org/10.4194/1303-2712-v14_3_12
52. Olvera-Novoa M. A., Campos S. G., Sabido M. G., Palacios C. A. M. The use of alfalfa leaf protein concentrates as a protein source in diets for tilapia (*Oreochromis mossambicus*). *Aquaculture*. 1990;90(3-4):291-302. DOI: [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90253-J](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90253-J)
53. Halbos D. M., Mohammed M. J., Alhamadani A. S. The effect of adding dried alfalfa powder to the diet on some growth parameters of common carp (*Cyprinus carpio* L.). *Annals of the Romanian Society for Cell Biology*. 2021;25(2):352-358. URL: <https://annalsofrscb.ro/index.php/journal/article/download/956/806>

54. Gyan W., Li X., He S., Lin H., Yang Q., Tan B., Dong X., Chi Sh., Liu H., Zhang Sh. A review on the use of dried distiller's grains with solubles (DDGS) in aquaculture feeds. *Annals of Animal Science*. 2022;22(1):21-42. DOI: <https://doi.org/10.2478/aoas-2021-0041>
55. Li E., Lim C., Klesius P., Cai C. Enhancement effects of dietary wheat distiller's dried grains with solubles on growth, immunity, and resistance to *Edwardsiella ictaluri* challenge of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2012;43(6):814-827. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2012.00605.x>
56. Oliveira K. R., Segura J. G., Oliveira B. A., Medeiros A. C. L., Zimba R. D., Viegas E. M. Distillers' dried grains with soluble in diets for Pacu, *Piaractus mesopotamicus* juveniles: Growth performance, feed utilization, economic viability, and phosphorus release. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;262:114393. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114393>
57. Lim C., Yildirim-Aksoy M., Klesius P. H. Growth response and resistance to *Edwardsiella ictaluri* of channel catfish, *Ictalurus punctatus*, fed diets containing distiller's dried grains with solubles. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2009;40(2):182-193. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2009.00241.x>
58. Li M. H., Robinson E. H., Oberle D. F., Lucas P. M. Effects of various corn distillers by-products on growth, feed efficiency, and body composition of channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture Nutrition*. 2010;16(2):188-193. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00650.x>
59. Li M. H., Robinson E. H., Oberle D. F., Zimba P. V. Effects of various dietary carotenoid pigments on fillet appearance and pigment absorption in channel catfish, *Ictalurus punctatus*. *Journal of the World Aquaculture Society*. 2007;38(4):557-563. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1749-7345.2007.00130.x>
60. Archit Sh., Munish K., Gyandeeep G., Neeraj P., Varun M. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant and animal protein sources. *International Journal of Chemical Studies*. 2019;7(3):4732-4739. URL: <https://vk.cc/cbOujz>
61. Kaur V. I., Saxena P. K. Incorporation of brewery waste in supplementary feed and its impact on growth in some carps. *Bioresource Technology*. 2004;91(1):101-104. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00073-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00073-7)
62. San Martin D., Orive M., Iñarra B., Castelo J., Estévez A., Nazzaro J., Iloro I., Elortza F., Zufia J. Brewers' spent yeast and grain protein hydrolysates as second-generation feedstuff for aquaculture feed. *Waste and Biomass Valorization*. 2020;11(10):5307-5320. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-020-01145-8>
63. Estévez A., Padrell L., Iñarra B., Orive M., San Martin D. Brewery by-products (yeast and spent grain) as protein sources in gilthead seabream (*Sparus aurata*) feeds. *Aquaculture*. 2021;543:736921. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.736921>
64. Singh R., Dhawan A., Saxena P. K. Potential of press mud – a sugar factory byproduct – in supplementary diets and its impact on fish growth. *Bioresource Technology*. 1999;67(1):61-64. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(99\)00067-X](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(99)00067-X)
65. Sharma N., Hassan S. S., Ansal M. D. Incorporation of press mud: A sugar factory byproduct in semi-intensive carp polyculture system and its effect on fish growth and survival. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2019;7(4):192-199. URL: <https://www.entomoljournal.com/archives/2019/vol7issue4/PartD/7-3-321-512.pdf>
66. Fountoulaki E., Vasilaki A., Hurtado R., Grigorakis K., Karacostas I., Nengas I., Ringos G., Kotzamanis Y., Venon B., Alexis M. N. Fish oil substitution by vegetable oils in commercial diets for gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.); effect on growth performance, flesh quality and fillet fatty acid profile. Recovery of fatty acid profiles by a fish oil finishing diet under fluctuating water temperature. *Aquaculture*. 2009;289(3-4):317-326. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.01.023>
67. Wassef E. A., Saleh N. E., El-Hady H. A. E. Vegetable oil blend as alternative lipid resources in diets for gilthead seabream, *Sparus aurata*. *Aquaculture International*. 2009;17(5):421-435. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-008-9213-7>
68. Petropoulos I. K., Thompson K. D., Morgan A., Dick J. R., Tocher D. R., Bell J. G. Effects of substitution of dietary fish oil with a blend of vegetable oils on liver and peripheral blood leukocyte fatty acid composition, plasma prostaglandin E2 and immune parameters in three strains of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture Nutrition*. 2009;15(6):596-607. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2008.00627.x>
69. Harshavardhan M. A., Aanand S., Kumar J. S. S., Senthilkumar V. Comparative evaluation of commercial vegetable oil, fish oil, palm oil and groundnut oil as a lipid source in maturation and reproductive performance of fancy koi, *Cyprinus carpio* var. koi. *Aquaculture*. 2021;545:737248. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2021.737248>
70. Mourente G., Good J. E., Bel J. G. Partial substitution of fish oil with rapeseed, linseed and olive oils in diets for European sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.): effects on flesh fatty acid composition, plasma prostaglandins E2 and E2a immune function and effectiveness of a fish oil finishing diet. *Aquaculture Nutrition*. 2005;11(1):25-40. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00320.x>
71. Alhazzaa R., Nichols P. D., Carter C. G. Sustainable alternatives to dietary fish oil in tropical fish aquaculture. *Reviews in Aquaculture*. 2019;11(4):1195-1218. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12287>
72. Hazreen-Nita M. K., Kari Z. A., Mat K., Rusli N. D., Sukri S. A. M., Harun H. C., Dawood M. A. Olive oil by-products in aquafeeds: Opportunities and challenges. *Aquaculture Reports*. 2022;22:100998. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.aqrep.2021.100998>
73. Ayisi C. L., Zhao J. L. Recent developments in the use of palm oil in aquaculture feeds: a review. *International Journal of Scientific & Technology Research*. 2014;3(6):259-264. URL: <https://vk.cc/cbUL8H>

74. Larbi Ayisi C., Zhao J., Wu J. W. Replacement of fish oil with palm oil: Effects on growth performance, innate immune response, antioxidant capacity and disease resistance in Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). PLoS one. 2018;13(4):e0196100. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0196100>
75. Glencross B. D., Baily J., Berntssen M. H., Hardy R., MacKenzie S., Tocher D. R. Risk assessment of the use of alternative animal and plant raw material resources in aquaculture feeds. Reviews in Aquaculture. 2020;12(2):703-758. DOI: <https://doi.org/10.1111/raq.12347>
76. Daniel N. A review on replacing fish meal in aqua feeds using plant protein sources. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2018;6(2):164-179. URL: <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartC/6-1-35-823.pdf>
77. Bandara T. Alternative feed ingredients in aquaculture: Opportunities and challenges. Journal of Entomology and Zoology Studies. 2018;6(2):3087-3094. URL: <https://www.entomoljournal.com/archives/2018/vol6issue2/PartAJ/6-1-130-287.pdf>
78. Drew M. D., Borgeson T. L., Thiessen D. L. A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. Animal Feed Science and Technology. 2007;138(2):118-136. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2007.06.019>
79. Alam M. S., Kaur J., Khaira H., Gupta K. Extrusion and Extruded Products: Changes in quality attributes as affected by extrusion process parameters: a review. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 2016;56(3):445-473. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2013.779568>
80. Vielma J., Mäkinen T., Ekholm P., Koskela J. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. Aquaculture. 2000;183(3-4):349-362. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(99\)00299-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(99)00299-9)
81. Abdallah M. F., Girgin G., Baydar T. Occurrence, prevention and limitation of mycotoxins in feeds. Animal Nutrition and Feed Technology. 2015;15(3):471-490. DOI: <https://doi.org/10.5958/0974-181x.2015.00048.7>

Сведения об авторах

Пахомов Виктор Иванович, доктор техн. наук, и.о. директора, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com; зав. кафедрой «Технологии и оборудование переработки продукции АПК», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344010, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>

Хлыстунов Виктор Федорович, доктор техн. наук, ученый секретарь по механизации и электрификации, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8476-9663>

Брагинцев Сергей Валерьевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com; доцент кафедры «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344010, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

✉ **Бахчевников Олег Николаевич**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Information about the authors

Viktor I. Pakhomov, DSc in Engineering, Director, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com; Head of the Department «Technologies and equipment for processing of agricultural products », Don State Technical University, 1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation, 344010, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8715-0655>

Viktor F. Khlystunov, DSc in Engineering, academic secretary on mechanization and electrification, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8476-9663>

Sergey V. Braginets, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Vegetable Feedstock Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnipitim@gmail.com; associate professor at the Department «Design and Maintenance of Transport and Technological Systems», Don State Technical University, 1 Gagarin Sq., Rostov-on-Don, Russian Federation, 344010, e-mail: reception@donstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

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

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.295-306>
УДК 619:616.98:578.832.1:615.371:616-036.22



Высокопатогенный грипп птиц в мире: стратегии вакцинации (обзор)

© 2022. О. И. Захарова✉, О. А. Бурова, Н. Н. Торопова, И. В. Яшин, А. А. Блохин

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

Вирусы гриппа птиц (*Avian influenza virus*) являются опасными в эпидемиологическом отношении, зоонозными патогенами, которые могут вызывать высокую заболеваемость и смертность как среди животных, так и людей. В результате реассортации или антигенного сдвига в геноме вируса гриппа птиц происходят изменения и в его свойствах: изменяется спектр хозяев, вирулентность и другие факторы. Естественным резервуаром гриппа птиц являются дикие водоплавающие птицы, способные передавать вирус домашней птице при прямом контакте. Обмен антигенными участками вирусов происходит в течение нескольких месяцев в традиционных местах зимовки перелетных птиц. Вирусы гриппа птиц с измененными генами в результате реассортации, циркулируя в популяциях дикой перелетной птицы, формируют эпизоотический риск распространения болезни на благополучных территориях. В данном обзоре по высокопатогенному гриппу птиц проведен анализ эпизоотической ситуации, вакцин и возможным стратегиям вакцинации, существующим в мире. Также была определена пространственная тенденция распространения высокопатогенного гриппа птиц в субъектах Российской Федерации, которую определяли с использованием ГИС-инструмента – медианный центр (*Median center*) в рабочей среде программы ArcGIS Pro. В результате анализа литературы было определено, что сама по себе вакцинация не считается панацеей, и без применения систем мониторинга, строгого соблюдения норм биобезопасности и депопуляции в случае возникновения вспышек гриппа птиц, решение вопроса контроля и ликвидации болезни не представляется возможным. Решение о вакцинации против гриппа птиц должно приниматься в каждом конкретном случае отдельно с учетом всех рисков дальнейшего распространения и мутационной изменчивости вируса. Все промышленные птицеводческие предприятия, направленные на экспорт продукции, должны работать в режиме закрытого типа и быть исключены из списка вакцинации.

Ключевые слова: *Avian influenza virus*, антропозоонозные заболевания, водоплавающие птицы, домашняя птица, вакцины, патогенез

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (тема № FGNM-0451-2021-0004).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Захарова О. И., Бурова О. А., Торопова Н. Н., Яшин И. В., Блохин А. А. Высокопатогенный грипп птиц в мире: стратегии вакцинации (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):295-306. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.295-306>

Поступила: 14.02.2022

Принята к публикации: 27.04.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Highly pathogenic avian influenza in the world: vaccination strategies (review)

© 2022. Olga I. Zakharova✉, Olga A. Burova, Nadezhda N. Toropova, Ivan V. Iashin, Andrey A. Blokhin

Federal Research Center for Virology and Microbiology, Nizhniy Novgorod Research Veterinary Institute-Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Nizhniy Novgorod, Russian Federation

Avian influenza viruses are epidemiologically dangerous zoonotic pathogens that can cause high morbidity and mortality both in animals and in humans. Reassortment and antigenic shift in the genome of the avian influenza virus draw to a change in its properties: host range, virulence, and other factors. The natural reservoir of avian influenza is wild waterfowl, which can transmit the virus to poultry through the direct contact. The exchange of antigenic sites of viruses occurs over several months in the traditional wintering grounds of migratory birds. Avian influenza viruses with altered genes as a result of reassortment, circulating in wild migratory birds, carry epizootic threat of spread of the disease to the unharmed areas. In this review of highly pathogenic avian influenza there has been analyzed the epizootic situation and possible vaccination strategies that exist in the world. The spatial trend in the spread of highly pathogenic avian influenza in the

constituent entities of the Russian Federation was determined using the GIS tool, Median Center in the working environment of the ArcGIS Pro software. Based on the review of selected literature, it has been established that vaccination itself is not considered a solution to the problem. Without monitoring systems, stringent biosecurity and population reduction in case of outbreaks, the control and eradication of the disease is impossible. The decision to vaccinate against avian influenza should be made on a case-by-case basis, weighing all the risks of further spread and mutation of the virus. All industrial poultry enterprises exporting the products must operate in a closed mode and be excepted from the list of vaccination.

Keywords: Avian influenza virus, anthroponozoonous diseases, waterfowl, poultry, vaccines, pathogenesis

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Virology and Microbiology (theme No. FGNM-0451-2021-0004)

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

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

For citations: Zakharova O. I., Burova O. A., Toropova N. N., Yashin I. V., Blokhin A. A. Highly pathogenic avian influenza in the world: vaccination strategies (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):295-306. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.295-306>

Received: 14.02.2022

Accepted for publication: 27.04.2022

Published online: 23.06.2022

Вирусы гриппа представляют собой оболочечные РНК-вирусы из семейства *Orthomyxoviridae* с диаметром 80-120 нм, которые по последней таксономии подразделяются на пять родов: *Influenza virus A*; *Influenza virus B*; *Influenza virus C*; *Isavirus*; *Thogotovirus*. Известно, что вирусы гриппа типа А поражают большое количество видов птиц и млекопитающих, тогда как другие виды имеют более ограниченный круг хозяев. Вирусы типа А, включая все вирусы гриппа птиц, имеют восемь отдельных геномных сегментов размером от 890 до 2341 нуклеотидов. Как и другие РНК-вирусы, вирусы гриппа имеют высокую скорость мутаций [1, 2, 3]. Сегментация дополнительно увеличивает скорость эволюции вируса, позволяя обмениваться генами между вирусными штаммами, которые одновременно инфицируют клетки одного и того же хозяина, – процесс, известный как реассортация [4, 5]. Грипп птиц вызывает вирус гриппа А, который подразделяется на основании антигенных различий двух типов поверхностных гликопротеинов: гемагглютинина (НА) и нейраминидазы (НА). В настоящее время у птиц идентифицировано шестнадцать подтипов НА (H1-H16) и девять NA (N1-N9), а также известны новые (H17, H18), выделенные от летучих мышей, обитающих в Гватемале [6]. В настоящее время в природе высокопатогенные вирусы гриппа, которые приводят к острым клиническим заболеваниям у кур, индеек и других видов птиц, были связаны только с такими антигенными вариантами, как H5 и H7. Поскольку существует риск трансформации вирусов гриппа птиц низкой патогенности (НПГП) в высокопатогенный (ВПГП) в результате мутаций, все типы вирусов ВПГП H5/H7,

выделенные от птиц, подлежат регистрации в ВОЗ [7, 8]. В зависимости от вида, возраста и типа птицы, специфических характеристик эпизоотического штамма вируса, а также факторов окружающей среды, характер заболевания у восприимчивых птиц может варьировать от внезапной гибели без каких-либо явных клинических признаков до выявления характерных симптомов, включая респираторные. Естественным резервуаром ВПГП являются дикие водоплавающие птицы, способные передавать вирус домашней птице. Обмен вирусами происходит в течение нескольких месяцев в традиционных местах зимовки перелетных птиц – уток, лебедей, гусей, чаек, поганок, нырков и еще, как минимум, двух десятков видов – на незамерзающих озерах, реках, болотах и прибрежных зонах морей Европы, Азии и Африки. С начала 21 века ВПГП представляет собой серьезную угрозу для домашней птицы во всем мире и привел к большим экономическим потерям в птицеводческом секторе из-за высокой смертности, заболеваемости и выбраковки инфицированной птицы [9]. Помимо воздействия на домашнюю птицу, некоторые штаммы гриппа птиц способны инфицировать людей. Например, по данным регистрации ВОЗ, в 2003-2018 годах известно, что из 860 случаев заболевания гриппом, вызванным H5N1, 454 закончились летальным исходом [10, 11, 12].

Цель работы – проанализировать эпизоотическую ситуацию по высокопатогенному гриппу птиц в мире с 2016 по 2021 год, провести литературный поиск возможных типов стратегий вакцинации и определить реальные меры контроля болезни в Российской Федерации.

Материал и методы. Используя методологию для систематических обзоров и мета-анализов [13], был проведен поиск литературы в базах данных Web of Science, PubMed, Scopus и Google Scholar, чтобы найти соответствующую информацию по определению возможных применяемых стратегий вакцинации против гриппа птиц и практик для обеспечения ветеринарного благополучия в популяции восприимчивого поголовья домашней птицы. Поисковый запрос включал ключевые слова: highly pathogenic avian influenza, waterfowl, vaccines, virus reassortment, vaccination strategy. Поиск не включал никаких ограничений по дате публикации. Также осуществлен поиск литературы в базе Российского научного цитирования – РИНЦ с использованием Science Index. Проведен первый просмотр заголовков и аннотаций, затем были проанализированы полные тексты статей, которые были определены как релевантные.

Данные о регистрации вспышек ВППП в мире были взяты из официальной отчетности ВОЗЖ¹, empress-i.fao² и ФГБУ «Центр ветеринарии»³. Ретроспективный анализ по эпизоотической ситуации по вспышкам гриппа птиц в мире охватывал период с 2016 по 2021 год с использованием общепринятых методов эпизоотологического анализа.

Для определения и визуализации тенденции распространения эпизоотии ВППП в Российской Федерации в период с 2016 по 2021 год использовали пространственный анализ медианных центров вспышек. Данный анализ проводили с помощью ГИС-инструмента Медианный центр (Median Center, Geographic Information Systems) [14] программы ArcGIS Pro⁴. Для каждого года анализируемого периода этот инструмент вычисляет медианную точку, которая определена путем минимизации общего евклидова расстояния до всех мест вспышек ВППП. Полученный медианный центр можно рассматривать как меру центральной тенденции распространения вспышек болезни, менее чувствительную к пространственным выбросам, чем средний центр.

Основная часть. В результате анализа и отбора релевантной научной литературы

по определению возможных применяемых стратегий вакцинации при ВППП и практик для обеспечения ветеринарного благополучия в популяции восприимчивого поголовья домашней птицы было отобрано 48 систематических обзоров из международных баз научного цитирования и 30 научных статей из базы Российского научного цитирования, соответствующих критериям отбора поиска, которые также подверглись тщательному анализу и отбору в соответствии с критериями поиска. Проанализировав результаты этих исследований, мы описали разносторонние мнения по значимости ведения стратегий, применяемых при вакцинации птицы от ВППП в мире, а также обобщили некоторые результаты применительно для территории Российской Федерации.

Эпизоотическая ситуация по высокопатогенному гриппу птиц в мире и Российской Федерации. Во многих странах мира Всемирной организацией по охране здоровья животных (ВОЗЖ) ежегодно регистрируют очаги гриппа птиц как среди домашней, так и дикой популяции. За анализируемый период было зарегистрировано более 100 тыс. очагов ВППП среди дикой и домашней птицы, преимущественно H5N1, H5N8, H5. На данный момент выделено четыре волны межконтинентального распространения гриппа птиц (2005-2006, 2009-2010, 2014-2015, 2016-2021 гг.), которые характеризовались распространением вируса гриппа H5 линии A/goose/Guangdong/1/96 [15, 16].

По данным ВОЗЖ, в четвертую межконтинентальную волну вспышки гриппа птиц регистрировались более чем в 48 странах Азии, Африки, Северной Америки и Европы. Наибольшее количество вспышек гриппа среди диких и домашних птиц было зарегистрировано в Венгрии, Германии и Франции.

В настоящее время эпизоотическая ситуация по ВППП как в мире, так и России остается крайне напряженной ввиду широкой антигенной изменчивости вируса. По данным ВОЗЖ, за 2021 год более чем 30 стран мира отправили срочные уведомления о вспышках гриппа птиц, обусловленного серологическими вариантами H5N1 и H5N8. Растет антигенное

¹OIE-WAHIS. [Электронный ресурс]. URL: <https://wahis.oie.int/#/dashboards/country-or-disease-dashboard> (дата обращения: 10.01.2022).

²Продовольственная и сельскохозяйственная организация Объединенных Наций – FAO. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/home/en/> (дата обращения: 10.01.2022).

³ФГБУ «Центр ветеринарии». Эпизоотическая обстановка. [Электронный ресурс]. URL: <https://центр-ветеринарии.рф/informatsiya/epizooticheskaya-obstanovka> (дата обращения: 17.01.2022).

⁴ArcGIS Pro – программное обеспечение ГИС. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.esri-cis.ru/ru-ru/arcgis/products/arcgis-pro/overview> (дата обращения: 17.01.2022).

разнообразие вирусов по нейраминидазе. Анализируя эпизоотическую ситуацию по гриппу птиц в мире, было отмечено, что в 2021 году было зарегистрировано более 2000 очагов, среди которых 57,61 % в популяции домашней птицы, а 42,39 % в дикой фауне (рис. 1). Нотифицированы такие варианты ВПГП: H5N1, H5N2, H5N5, H5N6, H5N8, H5N3, H5N4, H5. Наибольшее ко-

личество вспышек среди диких и домашних птиц, вызванных штаммом H5N8, зарегистрировано на начало мая 2021 г. во Франции, Германии, Польше, Швеции и других странах. Кроме высокопатогенных, также были зарегистрированы низкопатогенные вирусы гриппа птиц: H5N1, H5N2, H5N3, H5N9 во Франции; H7N3 – Камбодже; H5N3 – Германии; H7N6 – Чили⁵.

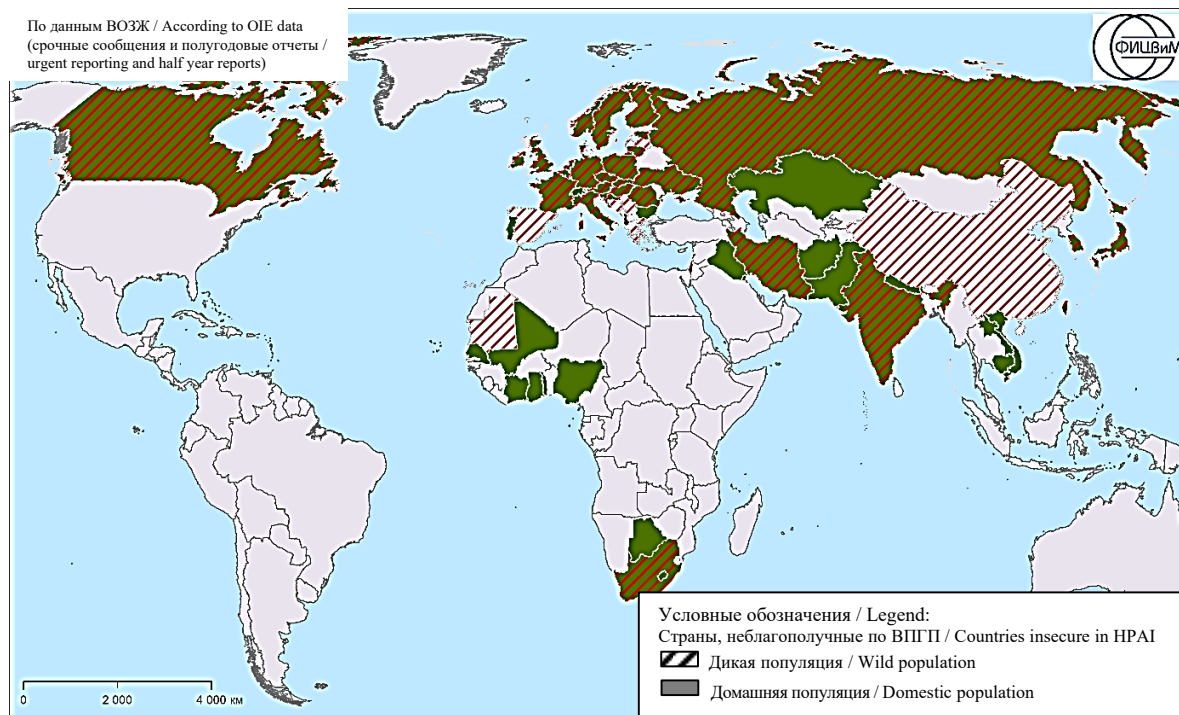


Рис. 1. Эпизоотическая ситуация по высокопатогенному гриппу птиц (ВПГП) в мире, 2021 г. /
Fig. 1. Epizootic situation on High Pathogenic Avian Influenza (HPAI) in the world, 2021

Начиная с 2016 года, ВПГП H5N8 в Российской Федерации был зарегистрирован у дикой перелетной птицы в период весенней миграции на озере Убсу-Нур (Республика Тыва) на границе с Монголией (6 очагов). В конце 2016 года вирус гриппа птиц этого варианта вызвал вспышки заболевания на четырех крупных промышленных птицеводческих предприятиях в Астраханской и Ростовской областях и трех личных подсобных хозяйствах. В результате было уничтожено более 870715 голов промышленной птицы. В 2017 году распространение гриппа птиц произошло на территории следующих субъектов Российской Федерации: Ростовской, Воронежской, Калининградской, Московской, Костромской, Самарской, Нижегородской областях, Краснодарском крае, республиках Чеченской, Удмуртской, Татарстан, Марий Эл. Всего было зарегистрировано 37 очагов гриппа среди домашней птицы, в том числе на 5 птицефабри-

ках (на Костромской фабрике был выявлен H5N2 ВПГП) и 4 очага у дикой водоплавающей птицы. Уничтожено более 2,1 млн голов промышленной и 267 голов водоплавающей птицы. В 2018 году вирус гриппа птиц распространился на 16 субъектах, ранее благополучных по этому заболеванию.

Всего было выявлено 107 очагов ВПГП: среди домашней птицы – 106, в том числе на 8 крупных птицеводческих предприятиях в Пензенской, Ростовской и Воронежской областях и один очаг низкопатогенного гриппа на птицефабрике ООО «Надеждинская птица» Приморского края. В результате эпизоотий 2018 года было уничтожено 23,9 тыс. голов птицы. В течение 2019 года было зарегистрировано всего 2 вспышки ВПГП – в Ростовской области, обе на индейководческих предприятиях и один очаг в дикой популяции перелетной птицы. В 2020 и 2021 гг. эпизоотия гриппа птиц расширяла

⁵Россельхознадзор. Эпизоотическая ситуация по гриппу птиц. [Электронный ресурс].

URL: <https://fsvps.gov.ru/fsvps/flu/> (дата обращения 17.01.2022).

свои территориальные границы на территории России и обуславливала стационарное неблагополучие в местах зимовок диких перелетных птиц. В 2020 году зарегистрировано 98 очагов ВПГП в 16 субъектах Российской Федерации как в популяции домашней, так и дикой, преимущественно водоплавающей птицы. В дикой фауне было зарегистрировано 13 очагов гриппа птиц, остальные в домашней популяции, в том числе на 7 птицеводческих предприятиях. В 2021 году эпизоотия гриппа птиц продолжилась. Основными подтипами вируса, вызвавшими её, стали H5N1 и H5N8. Всего было зарегистрировано 54 неблагополучных

пункта (97 очагов): из них 9 очагов на крупных птицеводческих предприятиях, 23 случая у дикой водоплавающей и синантропной птицы (пеликан, чайка, черная ворона), 65 очагов в личных подсобных хозяйствах [15, 17].

Проведенный анализ медианных центров вспышек в динамике по годам (2016-2021) показывает, что ВПГП в популяции домашней и сельскохозяйственной птицы распространялся в основном по субъектам Центрального, Южного, Приволжского федеральных округов, дикой птицы – охватывая территории Южного, Уральского и Сибирского федеральных округов, где проходят зимовки мигрирующих перелетных птиц (рис. 2).

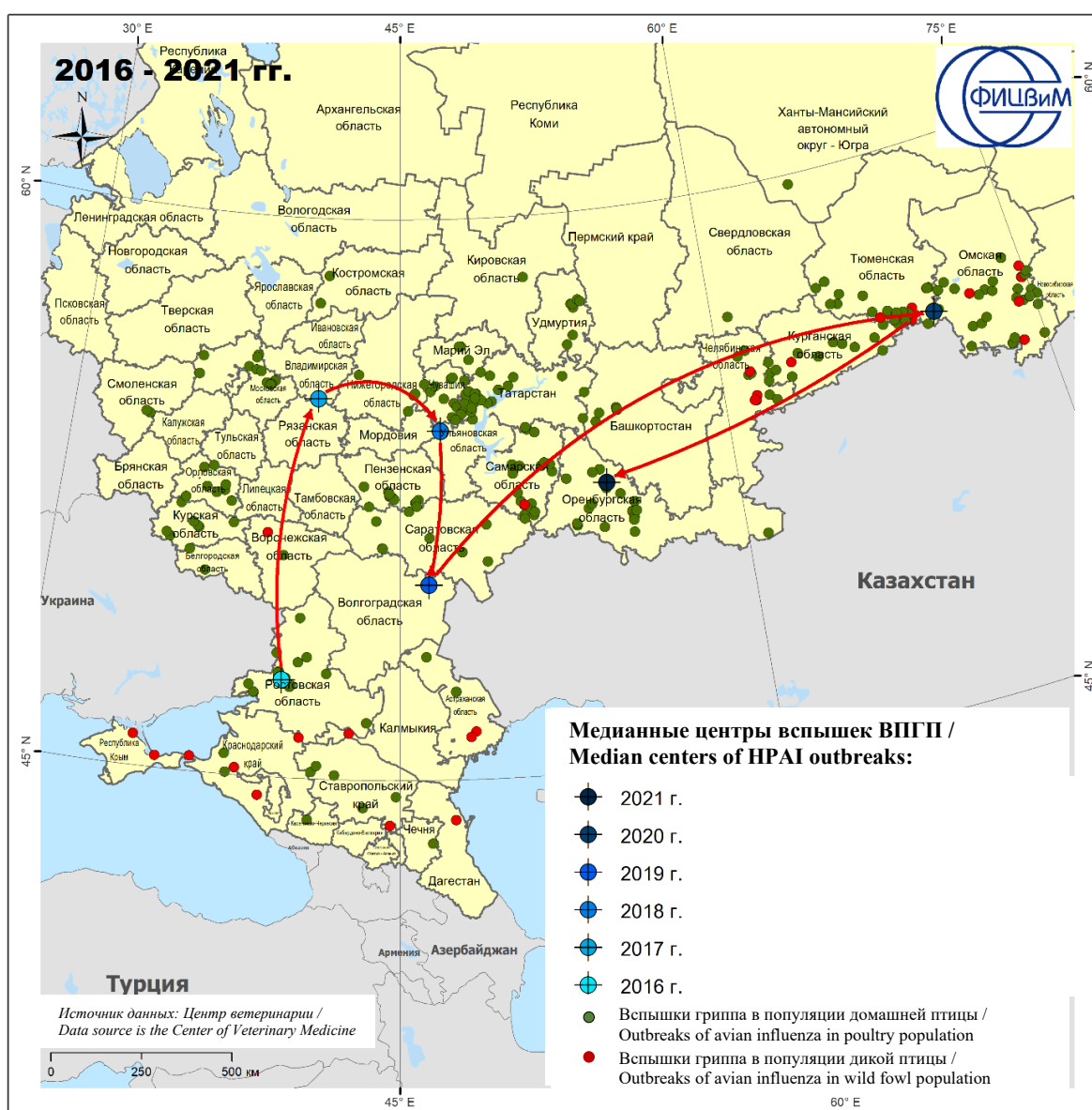


Рис. 2. Эпизоотическая ситуация по высокопатогенному гриппу птиц (ВПГП) в Российской Федерации за период с 2016 по 2021 гг. /

Fig. 2. Epizootic situation on High Pathogenic Avian Influenza (HPAI) in the Russian Federation, 2016-2021

Резервуаром вируса ВППП в природе являются дикие перелетные птицы, которые представляют основной риск для домашней популяции. Антигенный профиль зарегистрированных в Российской Федерации с 2016 по 2021 гг. вспышек представлен такими вариантами вируса ВППП, как H5N1, H5N2, H5N5, H5N8, H5, и низкопатогенным субтипом H9N2. Обнаружение ВППП среди дикой популяции в местах зимовок создает определенную угрозу риска заноса инфекции в промышленные птицеводческие предприятия Российской Федерации во время миграционных перемещений перелетных птиц [18, 19, 20, 21].

Вакцины против гриппа птиц. Вакцины против гриппа птиц могут быть подразделены на 4 основные категории [4, 8]:

- инактивированные цельновирионные;
- на основе белка НА (либо потенциально других белков вируса гриппа), полученного в системе экспрессии *in vivo* (живые векторные вакцины);
- на основе белка НА (либо потенциально других белков вируса гриппа), полученного в системе экспрессии *in vitro*;
- на основе нуклеиновых кислот (преимущественно ДНК-вакцины).

Все вакцины от гриппа птиц имеют свои достоинства и недостатки.

В птицеводстве на данный момент используется два основных типа вакцин против гриппа птиц: инактивированные цельновирионные и живые векторные вакцины, протективная эффективность которых основана на продукции нейтрализующих антител к определенному типу НА вируса гриппа птиц [22, 23].

Долгосрочная циркуляция вируса в вакцинированных стадах домашней и сельскохозяйственной птицы может привести как к антигенным, так и генетическим изменениям вируса, как например, согласно литературным данным, произошло в Мексике, Китае (КНР), Египте, Индонезии и других странах [24, 25, 26, 27, 28].

Определенные стратегии вакцинации предусматривают использование аутогенных вакцин, то есть вакцин, приготовленных из изолятов, специфически участвующих в отдельных эпизоотиях, тогда как другие основываются на вакцинах, изготовленных из вирусов, обладающих тем же подтипом гемагглютинаина полевого вируса, и способных обеспечивать высокие концентрации антител [29, 30, 31].

Вакцинация против вируса гриппа птиц варианта H9N2 широко используется в странах Азии и Ближнего Востока [20].

В результате чрезвычайных ситуаций при широко распространенных вспышках ВППП H5N1 в ряде стран Юго-Восточной Азии и Африки: Китае, Индонезии, Вьетнаме, Египте применяется профилактическая вакцинация [32, 33, 34].

Кроме того, в таких странах Европейского Союза, как Франция и Нидерланды профилактическая вакцинация против вируса гриппа птиц H5N1 разрешена для свободновыгульных и зоопарковых птиц. Италия широко применяет DIVA-стратегию с вакцинацией, контролирующей текущие эпизоотии НППП H7. Также была разработана программа бивалентной H5/H7 профилактической вакцинации в результате развивающейся эпидемиологической ситуации [35, 36, 37, 38].

В настоящее время в большинстве неблагополучных по гриппу птиц стран вакцинация против данного заболевания запрещена или не проводится. Вакцины применяются преимущественно в некоторых развивающихся странах и странах с переходной экономикой, но в меньшей степени в развитых странах. Тем не менее, большинство правил контроля очагов заражения гриппом птиц предусматривают такую возможность использования вакцины.

Страны, применяющие вакцинацию домашней птицы от гриппа, испытывают определенную проблему в выявлении инфицированных в вакцинированном поголовье. Для решения этой проблемы в практике вакцинации птицы была разработана DIVA-стратегия.

DIVA «Differentiating Infected from Vaccinated Animals» – дифференциация инфицированных и вакцинированных животных. Для гриппа птиц это может быть достигнуто путем использования вакцины, основанной на штамме, отличном от текущего полевого (дикого) (например, подтип H5N2), с помощью серологического теста, который может различать антитела, индуцированные вакциной. Для DIVA-стратегии были также разработаны ИФА, которые обнаруживают антитела против гликопротеина оболочки вируса гриппа птиц. Иммунный ответ при DIVA-вакцинации можно обнаружить также с помощью сопутствующих диагностических тестов, таких как твердофазный иммуноферментный анализ (ELISA) [39].

Вакцины, также называемые маркерными вакцинами, индуцируют иммунный ответ, отличный от иммунного ответа, вызванного естественной инфекцией. Маркерные вакцины основаны на делеционных мутантных изолятах

полевого вируса гриппа птиц, субъединичных и инактивированных цельновирусных вакцинах. В Италии инактивированная гетерологичная вакцина использовалась для борьбы с низкопатогенной инфекцией гриппа птиц (H7N1) в 1999/2000 гг. Эта вакцина была основана на том же подтипе гемагглютинина (H7), что и вирус дикого типа, но на другой нейраминидазе (N3) [40].

Экстренная вакцинация, при возникновении эпизоотии, с использованием вакцин DIVA может быть одним из средств контроля вспышек гриппа птиц в промышленном птицеводстве. Вакцинация DIVA может сократить количество выбракованных животных в процессе искоренения болезни, тем самым повышая общественное признание мер по борьбе с болезнью и значительно сокращая экономический ущерб. В отличие от обычной вакцинации, DIVA всегда следует использовать в качестве защитной вакцины, что означает, что вакцинированные животные содержатся до конца нормального производственного цикла, а их мясо в конечном итоге поступает на рынок [41, 42, 43, 44, 45].

Стратегии ликвидации ВПГП в мире. В настоящее время в мире существуют национальные программы по ликвидации гриппа птиц, включая разработанные стратегии индивидуально для каждой страны [30, 31, 33].

В выборе стратегии борьбы с ВПГП в странах мира традиционно применяются различные компоненты, включая быструю диагностику и надзор (непрерывный и систематический сбор, анализ и интерпретацию ветеринарных и медико-санитарных данных), уничтожение инфицированных стад (выбраковка, вынужденный убой), биобезопасность и обучение работников птицеводства. Наиболее часто в планах стратегии борьбы указываются следующие компоненты:

- карантин и дополнительные ограничения или меры контроля;
- наблюдение за домашней птицей в очаге;
- усиленные меры биобезопасности;
- просвещение и осведомленность фермеров и общественности о болезни;
- активное и пассивное наблюдение за домашней и дикой птицами в угрожаемой зоне;
- быстрая и точная диагностика;
- тотальная выбраковка (stamping-out) – убой инфицированной вирусом гриппа птицы;
- дезинфекция помещений и оборудования;

– обеззараживание и утилизация инфицированного материала;

– компенсация за вынужденный убой птицы частному сектору.

Вакцины и вакцинация были включены как вариант для 58 и 39 % стран в их стратегиях борьбы с ВПГП H5 и H7, НППГ соответственно, причем 58 % стран имели письменные планы с конкретными критериями использования вакцин. За все время эпизоотий, только 30 стран использовали вакцину против гриппа птиц для борьбы с ВПГП или НППГ у домашней птицы, из которых 8 стран использовали вакцину в профилактических программах, 14 – в программах экстренной помощи и 8 – в программах плановой вакцинации. Например, Китай инициировал программу экстренной вакцинации в 2004 г., вакцинируя домашнюю птицу в буферной зоне или в районах вспышки, но в конце 2005 г. она была изменена на программу плановой (массовой) вакцинации для всей домашней птицы в стране [46, 47, 48, 49]. Различные вариации результатов исполнения стратегий искоренения гриппа птиц предполагали, что реализация отдельных компонентов варьировала в разных странах, что приводило к несогласованности в действиях и распространению вируса гриппа. Это серьезно повлияло на общее количество случаев и вспышек гриппа птиц в странах мира, и в конечном итоге, на время, необходимое для контроля и искоренения болезни.

Это указывает на то, что страны, которые являются «прозрачными», то есть предоставляют открытые данные о вспышках в ВОЗЖ и используют адекватное финансирование для развития и поддержания эффективных ветеринарных служб, лучше контролируют ВПГП.

Также в стратегии предупреждения и ликвидации ВПГП Европейскими странами были указаны такие мероприятия, как система быстрого диагностического тестирования, дополнительная обработка неинфицированной домашней птицы, относящейся к группе риска, и экстренная вакцинация. Такие комбинации компонентов оказались эффективными в искоренении большинства вспышек [50, 51, 52, 53].

Основными стратегиями вакцинации против гриппа птиц в Российской Федерации являются: рутинная вакцинация в неблагополучных регионах; эмерджентная (вынужденная) – в случае возникновения вспышки заболевания; превентивная (профилактическая) – при высоком риске заноса ВПГП. Согласно принятым

приказом Минсельхоза России от 24.03.2021 № 158 «Об утверждении Ветеринарных правил осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов высокопатогенного гриппа птиц» правил⁶, вакцинация птиц в хозяйствах вакцинами против ВПГП в соответствии с инструкциями по их использованию не применяется в отношении птицефабрик.

Особое внимание при ликвидации болезни обращается на проведение комплексных исследований по мониторингу гриппа птиц, выяснению роли в эпизоотическом процессе различных синантропных и диких птиц, а также млекопитающих животных, выяснению механизма передачи вируса, длительности его сохранения в объектах ветнадзора и при вирусоносительстве, совершенствованию средств диагностики и профилактики, а также противозооотических мероприятий, в частности изучению эффективности вакцинации в различных эпизоотических ситуациях, и других вопросов.

Наряду с применением вакцинации в угрожаемой зоне, согласно настоящим правилам по борьбе с гриппом птиц, особое внимание для предотвращения и ликвидации очагов гриппа птиц необходимо уделять комплексу мер профилактической неспецифической защиты. Все неспецифические мероприятия можно подразделить на две большие группы: меры по ликвидации очагов эпизоотий и меры по предотвращению их появления [54, 55].

Стратегия борьбы с высокопатогенным гриппом птиц в Российской Федерации, согласно утвержденным Ветеринарным правилам по борьбе с высокопатогенным гриппом птиц, традиционно включает мероприятия по недопущению распространения инфекции, и в случае возникновения вспышки, полную депопуляцию больной и подозрительной по заболеванию птицы (стратегия «stamping-out»), выполнению строгих ветеринарно-санитарных мер по уничтожению вируса во внешней среде и предотвращению распространения его на соседние территории.

Вакцинация птицы, согласно настоящим правилам, предусмотрена только в определенных случаях:

- тенденция к дальнейшему распространению инфекции;
- защита ценной племенной продукции;
- защита редких и ценных птиц;
- создание защитной зоны вокруг промышленных птицеводческих организаций, в которой вся содержащаяся выгульным способом птица подвергается вакцинации.
- возникновение стационарно неблагополучных пунктов по маршрутам миграции диких перелетных птиц.

Вакцинация применяется ко всем типам личных подсобных хозяйств, кроме птицефабрик.

Обобщая общие принципы борьбы с гриппом птиц как на территории Российской Федерации, так и во многих развитых странах, основой для ликвидации и искоренения заболевания остаются радикальные меры: депопуляция восприимчивого поголовья в неблагополучных пунктах и ветеринарно-санитарные мероприятия. Все промышленные птицеводческие предприятия должны работать в режиме закрытого типа с определением зоосанитарного статуса (компартамента). При определении зон (территорий) повышенной опасности заноса гриппа птиц в популяцию домашней птицы важное значение имеет проведение регулярного активного и пассивного мониторинга возбудителя в дикой перелетной птице, необходимость сохранения эмерджентной вакцинации в зоопарках и зоосадах для сохранения редких и реликтовых видов птиц, а также организация государственного резерва инактивированной вакцины против гриппа H5 на случай экстренной ситуации.

Заключение. В настоящем обзоре на основе ретроспективного анализа эпизоотической ситуации ВПГП в мире определена центральная тенденция направления распространения вспышек гриппа птиц в неблагополучных субъектах Российской Федерации. В результате анализа мировой и отечественной литературы обобщены существующие практики применения методов вакцинации в разных странах мира, а также определены основные эпидемиологические направления для ликвидации заболевания.

⁶Ветеринарные правила осуществления профилактических, диагностических, ограничительных и иных мероприятий, установления и отмены карантина и иных ограничений, направленных на предотвращение распространения и ликвидацию очагов высокопатогенного гриппа птиц. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/603446871> (дата обращения: 17.01.2022).

Грипп птиц был, остается и в обозримом будущем, вероятно, останется глобальной проблемой здоровья животных. Обладая высокой изменчивостью, разнообразием естественных хозяев и легко преодолевая государственные и межвидовые границы, вирус гриппа обеспечивает себе твердые позиции лидера в нозологическом профиле инфекционной патологии и повестке мировой ветеринарной науки и практики. Несмотря на широкий рынок вакцин против гриппа птиц, сама по себе вакцинация не является панацеей и единственным решением для контроля над ВППП или НППП, если конечной целью является ликвидация заболевания. Без применения систем мониторинга, строгой биобезопасности и депопуляции в случае всплеск инфекции существует вероятность того, что вирусы гриппа могут стать эндемическими в вакцинированных популяциях домашних птиц. Тем не менее, большинство правил контроля очагов

заражения гриппом птиц предусматривают возможность использования вакцины в чрезвычайных ситуациях. Решение по вакцинации против гриппа птиц должно приниматься в каждом конкретном случае отдельно, взвешивая все риски по дальнейшему распространению и мутационной изменчивости вируса. Учитывая стратегии по борьбе с гриппом птиц в Российской Федерации, основными мерами остаются тотальная депопуляция всего восприимчивого поголовья в неблагополучном пункте и соблюдение ветеринарно-санитарных мер. Основными мерами в выявлении скрытых форм гриппа птиц являются мониторинговые исследования популяции домашней и дикой птицы – основного резервуара и переносчика возбудителя, особенно вдоль миграционных путей. Все промышленные птицеводческие предприятия должны работать в режиме закрытого типа, обеспечивая высокую степень биобезопасности.

References

1. Lycett S. J., Duchatel F., Digard P. A brief history of bird flu. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*. 2019;374(1775):20180257. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0257>
2. Webster R. G., Bean W. J., Gorman O. T., Chambers T. M., Kawaoka Y. Evolution and ecology of influenza A viruses. *Microbiol. Rev.* 1992;56(1): 152-179. DOI: <https://doi.org/10.1128/mr.56.1.152-179.1992>
3. Chen R., Holmes E. C. Avian influenza virus exhibits rapid evolutionary dynamics. *Mol. Biol. Evol.* 2006;23(12):2336-2341. DOI: <https://doi.org/10.1093/molbev/msl102>
4. Vasin A. V., Temkina O. A., Egorov V. V., Klotchenko S. A., Plotnikova M. A., Kiselev O. I. Molecular mechanisms enhancing the proteome of influenza A viruses: an overview of recently discovered proteins. *Virus Res.* 2014;185:53-63. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2014.03.015>
5. Mehle A., Dugan V. G., Taubenberger J. K., Doudna J. A. Reassortment and Mutation of the Avian Influenza Virus Polymerase PA Subunit Overcome Species Barriers. *J. Virol.* 2012;86(3):1750-1757. DOI: <https://doi.org/10.1128/JVI.06203-11>
6. Fouchier R. A., Munster V., Wallensten A., Bestebroer T. M., Herfst S., Smith D., Rimmelzwaan G. F., Olsen B., Osterhaus A. D. Characterization of a novel influenza A virus hemagglutinin subtype (H16) obtained from black-headed gulls. *J. Virol.* 2005;79(5):2814-2822. DOI: <https://doi.org/10.1128/JVI.79.5.2814-2822.2005>
7. Shi W., Gao G. F. Emerging H5N8 avian influenza viruses. *Science.* 2021;372(6544):784-786. DOI: <https://doi.org/10.1126/science.abg6302>
8. Печенкина А. А. Грипп птиц: история, возбудитель, эпидемиология. Вестник современных исследований. 2020;(5-1(35)):16-20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43942410&>
9. Pechenkinina A. A. Avian influenza: history, pathogen, epidemiology. *Vestnik sovremennykh issledovaniy.* 2020;(5-1(35)):16-20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43942410&>
10. Sims L. D., Swayne D. E. *Animal Influenza*. 2nd ed. John Wiley & Sons, Inc.; Ames, IA, USA: 2016, Avian influenza control strategies. pp. 363-377. URL: <https://www.wiley.com/en-us/Animal+Influenza%2C+2nd+Edition-p-9781118907467>
11. Boni M. F., Galvani A. P., Wickelgren A. L., Malani A. Economic epidemiology of avian influenza on smallholder poultry farms. *Theor Popul Biol.* 2013;90:135-144. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tpb.2013.10.001>
12. Mehta K, Goneau L. W., Wong J., L'Huillier A. G., Gubbay J. B. Zoonotic Influenza and Human Health-Part 2: Clinical Features, Diagnosis, Treatment, and Prevention Strategies. *Curr Infect Dis Rep.* 2018;20(10):38. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11908-018-0643-8>
13. Germeraad E. A., Sanders P., Hagenaars T. J., De Jong M. C. M., Beerens N., Gonzales J. L. Virus shedding of avian influenza in poultry: A systematic review and meta-analysis. *Viruses.* 2019;11(9):812. DOI: <https://doi.org/10.3390/v11090812>
14. Page M. J., McKenzie J. E., Bossuyt P. M., Boutron I., Hoffmann T. C., Mulrow C. D. et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ.* 2021;372:n71. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.n71>
15. Burt J. E., Barber G. *Elementary Statistics for Geographers*, Second Edition. Guilford Publications, 1996. 640 p.

15. Марченко В. Ю., Суслопаров И. М., Игнатьев В. Е., Гаврилова Е. В., Максютлов Р. А., Рыжиков А. Б. Обзор ситуации по высокопатогенному вирусу птичьего гриппа H5 в России в 2016-2017 гг. Проблемы особо опасных инфекций. 2018;(1):30-35. DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2018-1-30-35>
Marchenko V. Yu., Susloparov I. M., Ignat'ev V. E., Gavrilova E. V., Maksyutov R. A., Ryzhikov A. B. Overview of the Situation on Highly Pathogenic Avian Influenza Virus H5 in Russia in 2016-2017. *Problemy osobo opasnykh infektsiy* = Problems of Particularly Dangerous Infections. 2018;(1):30-35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2018-1-30-35>
16. Марченко В. Ю., Гончарова Н. И., Tran T. N., Trinh K. S., Nguyen N. Q., Гаврилова Е. В., Максютлов Р. А., Рыжиков А. Б. Обзор эпизоотологической ситуации по высокопатогенному вирусу гриппа птиц в России в 2019 г. Проблемы особо опасных инфекций. 2020;(2):31-37. DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-2-31-37>
Marchenko V. Yu., Goncharova N. I., Tran T. N., Trinh K. S., Nguyen N. Q., Gavrilova E. V., Maksyutov R. A., Ryzhikov A. B. Overview of the Epizootiological Situation on Highly Pathogenic Avian Influenza Virus in Russia in 2019. *Problemy osobo opasnykh infektsiy* = Problems of Particularly Dangerous Infections. 2020;(2):31-37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2020-2-31-37>
17. Марченко В. Ю., Гончарова Н. И., Гаврилова Е. В., Максютлов Р. А., Рыжиков А. Б. Обзор эпизоотологической ситуации по высокопатогенному гриппу птиц в России в 2020 г. Проблемы особо опасных инфекций. 2021;(2):33-40. DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2021-2-33-40>
Marchenko V. Yu., Goncharova N. I., Gavrilova E. V., Maksyutov R. A., Ryzhikov A. B. Overview of the Epizootiological Situation on Highly Pathogenic Avian Influenza in Russia in 2020. *Problemy osobo opasnykh infektsiy* = Problems of Particularly Dangerous Infections. 2021;(2):33-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21055/0370-1069-2021-2-33-40>
18. Lu L., Lycett S. J., Leigh Brown A. J. Reassortment patterns of avian influenza virus internal segments among different subtypes. *BMC Evol Biol.* 2014;14(1):1-16. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-14-16>
19. Khan S. U., Gurley E. S., Gerloff N., Rahman M. Z., Simpson N., Rahman M., et al. Avian influenza surveillance in domestic waterfowl and environment of live bird markets in Bangladesh, 2007-2012. *Sci Rep.* 2018;8(1):9396. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-27515-w>
20. Shin J., Kang S., Byeon H., Cho S. M., Kim S. Y., Chung Y. J., et al. Highly pathogenic H5N6 avian influenza virus subtype clade 2.3.4.4 indigenous in South Korea. *Sci Rep.* 2020;10(1):7241. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64125-x>
21. Araujo J., Petry M. V., Fabrizio T., Walker D., Ometto T., Thomazelli L. M., et al. Migratory birds in southern Brazil are a source of multiple avian influenza virus subtypes. *Influenza Other Respi Viruses.* 2018;12(2):220-231. DOI: <https://doi.org/10.1111/irv.12519>
22. Фролов А. В., Панкратов С. В., Рождественская Т. Н., Норкина С. Н., Шестопалов А. М. Грипп птиц. Специфическая профилактика. Ветеринария и кормление. 2020;(7):64-66.
DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-7-17>
Frolov A. V., Pankratov S. V., Rozhdestvenskaya T. N., Norkina S. N., Shestopalov A. M. Avian influenza. Specific prevention. *Veterinariya i kormlenie.* 2020;(7):64-66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2020-7-17>
23. Ирза В. Н., Джавадов Э. Д., Петрова О. Г. Грипп птиц. БИО. 2021;(2(245)):22-27.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46283984>
Irza V. N., Dzhabadov E. D., Petrova O. G. Avian flu. *BIO.* 2021;(2(245)):22-27. (In Russ.).
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46283984>
24. Liu Lin-lin, Fang B., Yu X., Li X., Lei Ya-ke, Chen D. Strengthened Monitoring of H5 Avian Influenza Viruses in External Environment in Hubei, 2018. *Curr Med Sci.* 2020;40(1):63-68. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11596-020-2147-7>
25. Verhagen J. H., Lexmond P., Vuong O., Schutten M., Guldemeester J., Osterhaus A. D. M. E., et al. Discordant detection of avian influenza virus subtypes in time and space between poultry and wild birds; Towards improvement of surveillance programs. *PLoS One.* 2017;12(3):e0173470. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0173470>
26. Tarigan S., Wibowo M. H., Indriani R., Sumarningsih S., Artanto S., Idris S., et al. Field effectiveness of highly pathogenic avian influenza H5N1 vaccination in commercial layers in Indonesia. *PLoS One.* 2018;13(1):e0190947. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0190947>
27. Swayne D. E., Kapczynski D. R. Vaccines, vaccination and immunology for avian influenza viruses in poultry. In *Avian influenza* (D. E. Swayne, ed.). Blackwell, Ames, Iowa. 2008. Ch. 19. pp. 407-451.
DOI: <https://doi.org/10.1002/9780813818634.ch19>
28. Marangon S., Capua I. Control of avian influenza in Italy: From stamping out to emergency and prophylactic vaccination. *Dev Biol (Basel).* 2006;124:109-115.
29. Hautefeuille C., Azzougouen B., Mouchel S., Dauphin G., Peyre M. Evaluation of vaccination strategies to control an avian influenza outbreak in French poultry production networks using EVACS tool. *Prev Vet Med.* 2020;184:105129. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2020.105129>
30. Swayne D. E., Pavade G., Hamilton K., Vailat B., Miyagishima K. Assessment of national strategies for control of high-pathogenicity avian influenza and low-pathogenicity notifiable avian influenza in poultry, with emphasis on vaccines and vaccination. *OIE Rev Sci Tech.* 2011;30(3):839-870. DOI: <http://dx.doi.org/10.20506/rst.30.3.2081>
31. Marangon S., Busani L., Capua I. Practicalities of the implementation of a vaccination campaign for avian influenza. *Avian Dis.* 2007;51(s1):297-303. DOI: <https://doi.org/10.1637/7539-033006R.1>
32. Sirawan A., Berry A., Badra R., El Bazzal B., Dabaja M., Kataya H., et al. Avian influenza surveillance at the human-animal interface in Lebanon, 2017. *East Mediterr Heal J.* 2020;26(7):774-778.
DOI: <https://doi.org/10.26719/emhj.20.004>

33. He F., Leyrer S., Kwang J. Strategies towards universal pandemic influenza vaccines. *Expert Rev Vaccines*. 2016;15(2):215-25. DOI: <https://doi.org/10.1586/14760584.2016.1115352>
34. Villanueva-Cabezas J. P., Coppo M. J. C., Durr P. A., McVernon J. Vaccine efficacy against Indonesian Highly Pathogenic Avian Influenza H5N1: systematic review and meta-analysis. *Vaccine*. 2017;35(37):4859-4869. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2017.07.059>
35. Bruschke C., Brückner G., Vallat B. International standards and guidelines for vaccination of poultry against highly pathogenic avian influenza. *Dev Biol (Basel)*. 2007;130:23-30.
36. Putri K., Wibowo M. H., Tarigan S., Wawegama N., Ignjatovic J, Noormohammadi A. H. Analysis of antibody response to an epitope in the haemagglutinin subunit 2 of avian influenza virus H5N1 for differentiation of infected and vaccinated chickens. *Avian Pathol*. 2020;49(2):161-170. DOI: <https://doi.org/10.1080/03079457.2019.1694635>
37. Wan Z., Cardenas G. S., Liu J., Santos J., Carnaccini S., Geiger G., et al. Alternative Strategy for a Quadrivalent Live Attenuated Influenza Virus Vaccine. *J. Virol*. 2018;92(21):e01025-18. DOI: <https://doi.org/10.1128/JVI.01025-18>
38. Tate M. D. Highly pathogenic avian H5N8 influenza viruses: should we be concerned? *Virulence*. 2018;9(1):20-21. DOI: <https://doi.org/10.1080/21505594.2017.1386832>
39. Horman W. S. J., Nguyen T. H. O., Kedzierska K., Bean A. G. D., Layton D. S. The drivers of pathology in zoonotic avian influenza: The interplay between host and pathogen. *Front Immunol*. 2018;9:1812. DOI: <https://doi.org/10.3389/fimmu.2018.01812>
40. Hasan N. H., Ignjatovic J., Peaston A., Hemmatzadeh F. Avian Influenza Virus and DIVA Strategies. *Viral Immunol*. 2016;29(4):198-211. DOI: <https://doi.org/10.1089/vim.2015.0127>
41. Capua I., Cattoli G., Marangon S. DIVA – A vaccination strategy enabling the detection of field exposure to avian influenza. *Dev Biol (Basel)*. 2004;119:229-233.
42. Cabral L. A. DIVA strategy for avian influenza. *Aust Vet J*. 2015;93(1-2):N2-N24. DOI: <https://doi.org/10.1111/avj.143>
43. Suarez D. L. DIVA vaccination strategies for avian influenza virus. *Avian Dis*. 2012;56(4sl):836-844. DOI: <https://doi.org/10.1637/10207-041512-Review.1>
44. Борисов А. В., Борисов В. В., Ирза В. Н., Рахманов А. М. Научно-правовое обеспечение с высокопатогенным гриппом птиц. Труды Федерального центра охраны здоровья животных. 2007;5:83-93. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14454048>
- Borisov A. V., Borisov V. V., Irza V. N., Rakhmanov A. M. Scientific and legal groundwork for measures aimed at control of highly pathogenic avian influenza. *Trudy Federal'nogo tsentra okhrany zdorov'ya zhivotnykh*. 2007;5:83-93 (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=14454048>
45. Тихонова З. В. Проблемы и перспективы профилактики эпизоотии гриппа птиц (литературный обзор). Ветеринарная практика. 2007;2(37):10-16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12501993>
- Tikhonova Z. V. Problems and the prospect for the preventive maintenance of epizootic disease of the influenza of birds (literary survey). *Veterinarnaya praktika*. 2007;2(37):10-16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12501993>
46. Allison A. B., Ballard J. R., Tesh R. B., Brown J. D., Ruder M. G., Keel M. K., et al. Cyclic Avian Mass Mortality in the Northeastern United States Is Associated with a Novel Orthomyxovirus. *J Virol*. 2015;89(2):1389. DOI: <https://doi.org/10.1128/JVI.02019-14>
47. Chen H. H5N1 avian influenza in China. *Sci China, Ser C Life Sci*. 2009;52(5):419-427. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11427-009-0068-6>
48. Huynh H. T. T., Truong L. T., Meeyam T., Le H. T., Punyapornwithaya V. Individual and flock immunity responses of naïve ducks on smallholder farms after vaccination with H5N1 Avian Influenza vaccine: a study in a province of the Mekong Delta, Vietnam. *PeerJ*. 2019;7(1):e6268. DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.6268>
49. Sun Z., Wang J., Huang Z. Assessment of China's H5N1 routine vaccination strategy. *Sci Rep*. 2017;7:46441 DOI: <https://doi.org/10.1038/srep46441>
50. Sayedahmed E. E., Elakashif A., Alhashimi M., Sambhara S., Mittal S. K. Adenoviral vector-based vaccine platforms for developing the next generation of influenza vaccines. *Vaccines*. 2020;8(4):574. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines8040574>
51. Forster P. Ten years on: Generating innovative responses to avian influenza. *Ecohealth*. 2014;11(1):15-21. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10393-013-0887-6>
52. Pramuwidyatama M. G., Hogeveen H., Saatkamp H. W. A systematic evaluation of measures against highly pathogenic avian influenza (HPAI) in Indonesia. *Front Vet Sci*. 2019;(6):33. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00033>
53. Dalla Pozza M., Ceolin C., Marangon S. Emergency Response Following Suspicion of an Avian Influenza Outbreak. *Zoonoses Public Health*. 2008;55(1):50-53. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1863-2378.2007.01083.x>
54. Волков М. Высоко- и низкопатогенный грипп птиц. Животноводство России. 2021;(6):17-22. DOI: <https://doi.org/10.25701/ZZR.2021.97.56.003>
- Volkov M. High and low pathogenic avian flu. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2021;(6):17-22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25701/ZZR.2021.97.56.003>
55. Zhou S., Tian H., Wu X., Xu B., Yang J., Chan K. K. Y., et al. Genetic evidence for avian influenza H5N1 viral transmission along the black sea-mediterranean flyway. *J Gen Virol*. 2016;97(9):2129-2134. DOI: <https://doi.org/10.1099/jgv.0.000534>

56. Костина Л. В., Забережный А. Д., Гребенникова Т. В., Антипова Н. В., Алипер Т. И., Непоклонов Е. А. Вакцины против гриппа птиц в птицеводстве. Вопросы вирусологии. 2017;62(2):53-60.

DOI: <https://doi.org/10.18821/0507-4088-2017-62-2-53-60>

Kostina L. V., Zaberezhnyy A. D., Grebennikova T. V., Antipova N. V., Aliper T. I., Nepoklonov E. A. Vaccines against avian influenza in poultry. *Voprosy virusologii* = Problems of Virology. 2017;62(2):53-60. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.18821/0507-4088-2017-62-2-53-60>

Сведения об авторах

✉ **Захарова Ольга Игоревна**, научный сотрудник отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: info@ficvim.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1408-2989>, e-mail: ozakharova@ficvim.ru

Бурова Ольга Александровна, зам. руководителя отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5396-0334>

Торопова Надежда Николаевна, микробиолог отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4786-6886>

Яшин Иван Вячеславович, кандидат биол. наук, директор филиала, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7359-2041>

Блохин Андрей Александрович, кандидат вет. наук, ведущий научный сотрудник, руководитель отдела эпизоотологии и оценки риска, связанного со здоровьем животных, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5161-1184>

Information about the authors

✉ **Olga I. Zakharova**, researcher, the Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: info@ficvim.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1408-2989>, e-mail: ozakharova@ficvim.ru

Olga A. Burova, Deputy head of the Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5396-0334>

Nadezhda N. Toropova, microbiologist, the Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4786-6886>

Ivan V. Iashin, PhD in Biological Science, Director of the Branch, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7359-2041>

Andrey A. Blokhin, PhD in Veterinary Science, leading researcher, Head of the Department of Epizootology and Risk Assessment Associated with Animal Health, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: info@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5161-1184>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.307-317>

УДК 633.112.9:631.526.32

Влияние агроклиматических условий и минеральных удобрений на зерновую продуктивность ярового тритикале в условиях Республики Марий Эл

© 2022. Ю. А. Лапшин✉, В. А. Максимов, Р. И. Золотарёва
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены данные 2019-2021 гг. по влиянию агроклиматических условий и доз внесения минеральных удобрений на зерновую продуктивность 13 сортов ярового тритикале. Установлена тесная зависимость урожайности сортов тритикале от запасов продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см за периоды май-июнь ($r = 0,73$) и июль-август ($r = 0,85$). В засушливых условиях первой половины вегетации при запасе продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см 61...92 мм зерновая продуктивность сортов ярового тритикале без применения минеральных удобрений составила менее 3 т/га. При более благоприятных условиях почвенного увлажнения (154 мм) урожайность приближалась к 4 т/га, что для условий Республики Марий Эл является очень хорошим показателем. На фоне внесения минеральных удобрений в дозах $N_{30-60}P_{60}K_{60}$ зерновая продуктивность сортов повысилась: у Ровня на 20-33 %, Саур – 57-78 %, Савва – 5-22 %, Тимур – 39-77 %, Доброе – 42-60 %, Заозерье – 38-40 %, КНИИСХ 9 – 16-40 %, КНИИСХ 11 – 12-30 %, КНИИСХ 22 – 22-28 %. В среднем за три года исследований сорта ярового тритикале Доброе (3,43 т/га), Савва (3,12 т/га) и КНИИСХ 9 (3,26 т/га) отличались слабой реакцией на неблагоприятные условия почвенного увлажнения и обеспечивали стабильно высокую продуктивность кормового зерна. На примере сорта Доброе установлен наиболее оптимальный вариант возделывания ярового тритикале в моделируемом агрофитоценозе с нормой высева 4 млн всхожих семян на гектар при внесении $N_{60}P_{30}K_{30}$. В среднем за два года исследований урожайность этого сорта при норме высева 4 млн всхожих семян на гектар (4,12 т/га) была выше, чем в вариантах с контрольной (3 млн) и повышенной (5 млн) нормах высева – на 8 и 22 % соответственно.

Ключевые слова: сорта ярового тритикале, норма высева, минеральные удобрения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № 0528-2019-0091).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лапшин Ю. А., Максимов В. А., Золотарёва Р. И. Влияние агроклиматических условий и минерального питания на зерновую продуктивность ярового тритикале в условиях Республики Марий Эл. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):307-317. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.307-317>

Поступила: 24.02.2022

Принята к публикации: 06.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

The influence of agroclimatic conditions and mineral fertilizers on the grain productivity of spring triticale in the conditions of Mari El Republic

© 2022. Yuri A. Lapshin✉, Vladimir A. Maksimov, Rimma I. Zolotareva
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents data of 2019-2021 on the influence of agroclimatic conditions and doses of mineral fertilizers on the grain productivity of 13 varieties of spring triticale. A close dependence of the yield of triticale varieties on the reserves of productive moisture in the soil layer of 0-50 cm was established for the periods May-June ($r = 0.73$) and July-August ($r = 0.85$). Without the use of mineral fertilizers in arid conditions with reserves of productive moisture in 0-50 cm soil layer from 61 to 92 mm in the first half of the growing season, the grain productivity of spring triticale varieties was less than 3 t/ha. Under more favorable conditions of soil moistening (154 mm), the yield was almost 4 t/ha, which is a very good indicator for the conditions of Mari El Republic. Against the background of the application of mineral fertilizers in doses of $N_{30-60}P_{60}K_{60}$, the grain productivity of varieties increased: Rovnya by 20-33 %, Saur – 57-78 %, Savva – 5-22 %, Timur – 39-77 %, Dobroye – 42-60 %, Zaozerye – 38-40 %, KNIISKH 9 – 16-40 %, KNIISKH 11 – 12-30 %, KNIISKH 22 – 22-28 %. On average, over three years of research, the varieties of spring triticale Dobroye (3.43 t/ha), Savva (3.12 t/ha) and KNIISKH 9 (3.26 t/ha) were characterized by a weak reaction to unfavorable soil moisture conditions and provided consistently high productivity of feed

grain. The case of Dobroye variety, the most optimal variant for cultivating spring triticale in a simulated agrophytocenosis with a seeding rate of 4 million germinating seeds per hectare when applying $N_{60}P_{30}K_{30}$ is established. On average for two years of the research the yield of this variety has reached 4.12 t/ha with a seeding rate of 4 million germinating seeds per hectare, which is 8 % higher than the control (3 million germinating seeds per hectare) and 22 % higher than in the variant with a seeding rate of 5 million pcs/ha.

Keywords: *spring triticale varieties, seeding rate, mineral fertilizers*

Acknowledgement: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center named N. V. Rudnitsky (theme No. 0528-2019-0091).

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

Conflict of interest: authors declared no conflict of interest.

For citation: Lapshin Yu. A., Maksimov V. A., Zolotareva R. I. The influence of agro-climatic conditions and mineral fertilizers on the grain productivity of spring triticale in the conditions of Mari El Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):307-317. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.307-317>

Received: 24.02.2022

Accepted for publication: 06.05.2022

Published online: 23.06.2022

Животноводство является ведущей отраслью сельскохозяйственного производства Республики Марий Эл, продукция которой известна далеко за её пределами. Для своего поступательного развития оно нуждается в надёжной кормовой базе. По объективным причинам недостающие для производства животноводческой продукции объёмы кормового зерна республика вынуждена завозить из других регионов. Исследователи республики ведут поиск и апробируют новые варианты получения высококачественных зерновых кормов, в частности за счёт более активной интродукции культуры тритикале [1, 2, 3].

Как показывает практика, устойчивость тритикале к стрессам, обусловленным как погодными факторами, так и почвенными условиями, значительно выше, чем у других зерновых культур. Тритикале хорошо переносит не только засуху, но и заморозки, устойчива к вирусным и грибным болезням. Все это позволяет выращивать данную культуру и на полях, где произрастание сортов традиционной культуры яровой пшеницы затруднительно [4]. Приоритетным условием реализации потенциальной урожайности новых сортов является применение научно обоснованных технологий их возделывания в конкретных почвенно-климатических условиях [5]. С появлением высокопродуктивных сортов, обладающих хорошей адаптивной приспособленностью к стрессовым факторам окружающей среды [6, 7, 8, 9], сельскохозяйственнoпроизводители стали рассматривать тритикале как надёжный источник производства кормового зерна с низкой себестоимостью. Современное состояние и развитие сельскохозяйственного производства в зоне рискованного земледелия сопряжено с ускоренным внедрением адаптивных сортов, биологические особенности которых определяют величину

урожайности и качество продуцируемого зерна [10, 11, 12, 13, 14]. Дальнейшее увеличение продуктивности тритикале возможно за счёт интенсификации земледелия, предусматривающей внесение в оптимальные сроки сбалансированных доз минеральных удобрений [15, 16, 17, 18], эффективность которых зависит от применяемых технологий [19, 20, 21].

Для более широкого внедрения культуры ярового тритикале на северо-востоке Нечерноземной зоны России и в Республике Марий Эл необходимо опытным путем установить экономически оправданные, сбалансированные по питательным веществам дозы минеральных удобрений, обеспечивающие достаточно высокий уровень урожайности. Актуален и поиск высокопродуктивных сортов отечественной селекции в агроклиматических условиях региона. Оба этих фактора в условиях Республики Марий Эл недостаточно изучены и требуют уточнения. Управлять уровнем урожайности тритикале можно нормами высева семян культуры [22, 23]. Этот научный вопрос в республике практически не изучался.

Цель исследований – изучить влияние доз минеральных удобрений и условий почвенного увлажнения на урожайность сортов ярового тритикале, на примере сорта Доброе уточнить оптимальную норму высева в условиях Республики Марий Эл.

Новизна исследований – оценка продуктивного потенциала перспективных сортов ярового тритикале различных селекционных центров в условиях Республики Марий Эл.

Материалы и методы. Экспериментальные данные получены в двухфакторных полевых опытах, заложенных в 2019-2021 гг. на опытном поле Марийского НИИСХ. Почва опытного участка – окультуренная дерново-среднеподзолистая среднесуглинистая со сле-

дующей агрохимической характеристикой пахотного слоя: содержание гумуса (ГОСТ 26213-91 п. 1) – 1,95-2,53 %, сумма обменно-поглощённых оснований (ГОСТ 27821-88) – 9,8-10,4 ммоль/100 г почвы, pH солевой вытяжки (ГОСТ 26483-85) – 5,6-5,8, гидролитическая кислотность (ГОСТ 26212-91) – 2,13-2,25 ед., содержание общего азота (ГОСТ Р 58596-2019) – 0,05-0,08 %. Содержание подвижных форм фосфора (ГОСТ Р 54650-2011) – 645-727 мг/кг почвы, калия – 358-496 мг/кг в пахотном слое.

В опыте №1 изучали зерновую продуктивность 13 районированных и перспективных сортов ярового тритикале (табл. 1) в зависимости от доз и сроков внесения минеральных удобрений: без удобрений; $N_{30}P_{60}K_{60}$ (под предпосевную культивацию); $N_{60}P_{60}K_{60}$ (под предпосевную культивацию); $N_{60}P_{60}K_{60}$ (под предпосевную культивацию) + N_{30} в фазу «кущение». В качестве контроля использовали сорт Ровня, принятый за стандарт на сортоиспытательных участках Республики Марий Эл. Сорта высевали с нормой 5 млн всхожих семян на гектар.

Таблица 1 – Сортимент изучаемых сортов ярового тритикале (2019-2021 гг.) /

Table 1 – Assortment of the studied varieties of spring triticale (2019-2021)

<i>Copm / Variety</i>	<i>Организация-оригинатор / Originator organization</i>
Ровня, ст. / Rovnya, st.	Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко / Upper Volga Federal Agrarian Research Center, National Grain Center named after P. P. Lukyanenko
Тимирязевская 42* / Timiriasevskaya 42*	Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии / All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology
Слово* / Slovo*	Верхневолжский федеральный аграрный научный центр / Upper Volga Federal Agrarian Research Center
Ботаническая 4* / Botanicheskaya 4*	Всероссийский научно-исследовательский институт сельскохозяйственной биотехнологии / All-Russian Research Institute of Agricultural Biotechnology
Орден* / Orden*	Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко / Upper Volga Federal Agrarian Research Center, National Grain Center named after P. P. Lukyanenko
10-265ят1-22 (КНИИСХ 22) / 10-265ят1-22 (КНИСХ 22)	Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко / National Grain Center named after P. P. Lukyanenko
Савва / Savva	
Доброе / Dobroe	Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию / Upper Volga Federal Agrarian Research Center, Scientific and Practical Center for Farming of the National Academy of Sciences of Belarus
09-206т9 (КНИИСХ 9) / 09-206т9 (КНИСХ 9)	Национальный центр зерна имени П. П. Лукьяненко / National Grain Center named after P. P. Lukyanenko
Тимур / Timur	
11-265ят11 (КНИИСХ 11) / 11-265ят11 (КНИСХ 11)	
Саур / Saur	Федеральный Ростовский аграрный научный центр / Federal Rostov Agrarian Scientific Center
Заозерье / Zaozerie	Верхневолжский федеральный аграрный научный центр, Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию / Upper Volga Federal Agrarian Research Center, Scientific and Practical Center for Farming of the National Academy of Sciences of Belarus

* Сортимент в 2021 году пополнился за счет новых перспективных сортов /

*The assortment in 2021 was supplemented by the inclusion of new promising varieties

В опыте № 2 определяли влияние норм высева (3, 4, 5 млн всхожих семян на гектар) и доз внесения минеральных удобрений: $N_{60}P_{30}K_{30}$ под предпосевную культивацию; $N_{30}P_{30}K_{30}$ под предпосевную культивацию + N_{30}

в фазу «кущение») на устойчивость агрофитотенноза и зерновую продуктивность ярового тритикале сорта Доброе.

Агротехнические приёмы возделывания ярового тритикале в опытах, кроме изучаемых

факторов, были типичными для яровых зерновых культур. Посев проводили по мере поспевания почвы: в 2019 г. – 5 мая, 2020 – 15 мая, 2021 г. – 13 мая. Площадь делянки – 20 кв. метров, повторность четырёхкратная. Размещение испытуемых сортов систематическое, уровней минерального удобрения – рендомизированное.

Фосфорно-калийные удобрения вносили под предпосевную обработку почвы в форме двойного суперфосфата и хлористого калия. Азотные удобрения применяли в виде аммиачной селитры в два этапа: основное внесение под предпосевную культивацию и прикорневая подкормка в фазу кущения растений ярового тритикале.

Наблюдения, учёты и анализ снопового материала проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур¹. Статистический анализ экспериментальных данных по методике Б. А. Доспехова². Для оценки условий тепло- и влагообеспеченности (сумма выпавших осадков) в годы проведения исследований рассчитывали гидротермический коэффициент (ГТК) по Селянинову³. Определение запасов продуктивной влаги проводили послойно, через каждые 10 см в метровом слое почвы⁴.

Результаты и их обсуждение. Изменения климатических условий в России за последние годы привели к росту теплообеспеченности сельскохозяйственных культур. С повышением среднесуточных температур воздуха одновременно отмечается и тенденция сокращения продолжительности периода налива зерна, более раннее его созревание, что часто ведёт к снижению урожая [24]. Часто повторяющиеся засухи являются основной причиной междоудочной изменчивости урожаев зерновых культур в России. Реализовать преимущества потепления климата возможно при выращивании новых более пластичных и высокоурожайных сортов и внесении коррекции в применяемые агротехнологии возделывания зерновых культур⁵.

Одним из ключевых факторов, оказывающих приоритетное влияние на формирование урожая сельскохозяйственных культур, является наличие оптимального уровня почвенной влаги в периоды, когда растения испытывают максимальную водопотребность. Такими периодами у ярового тритикале являются фазы «выход в трубку» и «восковая спелость». Известно, что в годы с оптимальной влагообеспеченностью растений, урожайность зерна ярового тритикале увеличивается более чем в два раза, чем при дефиците почвенной влаги. Поэтому важной характеристикой условий вегетации культуры, оказывающей существенное влияние на формирование урожайности, является оценка почвенных влагозапасов в периоды ее произрастания [25].

Нами установлено, что между запасами продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см за период май-июнь и урожайностью тритикале существует сильная корреляционная связь ($r = 0,73$). Запасы продуктивной влаги второй половины вегетации (июль-август) оказывают более существенное влияние на величину урожая испытуемых сортов ($r = 0,85$). Из-за нестабильных по годам агроклиматических условий урожайность ярового тритикале в республике остаётся низкой и у современных сортов далеко не достигает её потенциально-возможных значений. В связи с этим важен поиск и выявление сортов с меньшей реакцией на неблагоприятные условия увлажнения.

Агроклиматические условия вегетационного периода ярового тритикале в 2019-2021 годах существенно отличались от средних многолетних значений (табл. 2) и оказали влияние на величину формируемого урожая зерна.

За осенне-зимний период на опытных участках накапливалось достаточное количество почвенной влаги к периоду сева культуры. В процессе вегетации тритикале запасы влаги последовательно снижались. В период от посева до полных всходов ГТК в 2019 году составил 0,60, в 2020 – 1,30 и 2021 году – 1,10.

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

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Альянс, 2011. 352 с.

³Селянинов Г. Т. Принципы агроклиматического районирования территории СССР. В кн.: Вопросы агроклиматического районирования СССР. М.: Изд. Минсельхоза СССР, 1958. С. 7-14.

⁴Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. М., 1986. С. 150-151.

⁵Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Под ред. д-ра физико-математических наук В. М. Катцова. СПб.: Росгидромет, 2017. 105 с.

URL: <https://meteoinfo.ru/images/media/books-docs/klim-riski-2017.pdf>

При достижении фазы «выход в трубку», для которой характерна наибольшая потребность растений во влаге, запасы продуктивной почвенной влаги в вариантах опыта изменялись от 101 до 110 мм и оценивались как «удовлетворительные». Наступление фазы «восковая спелость» ярового тритикале приходилось на летний период с дефицитом атмосферных осадков, высокими среднесуточными температурами воздуха и нередкой атмосферной засухой. Это обусловило снижение запасов почвенной

влаги метрового слоя в вариантах опыта в среднем до 76-84 мм – до уровня «плохие». Почвенные влагозапасы под посевами тритикале в фазе «полная спелость» опускались до крайне низких величин, не превышая 36-44 мм. В среднем за годы исследований, во время наибольшей потребности во влаге растений тритикале, запасы почвенной влаги метрового слоя в вариантах опыта оценивались: в фазу «выход в трубку» – как «удовлетворительные», при достижении фазы «восковая спелость» – как «плохие».

Таблица 2 – Метеорологические условия периода вегетации ярового тритикале (данные Марийского ЦГМС-филиала ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС») /

Table 2 – Meteorological conditions of the spring triticale vegetation period (data of the Mari CGMS-branch of the FSBI «Verkhne-Volzhskoe UGMS»)

Год / Year	Май / May			Июнь / June			Июль / July			Август / August			ГТК за вегетацию / HTC for vegetation
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2019	31,0	15,1	0,60	46,0	17,8	0,87	150,0	16,8	2,87	92,0	14,8	2,13	1,60
2020	76,0	15,1	1,30	78,0	15,7	1,60	98,0	20,7	2,50	119,0	16,2	2,40	2,00
2021	51,0	16,4	1,10	41,0	21,0	0,70	37,0	20,9	0,60	72,0	20,3	1,10	0,90
Среднее много- летнее / Average perennial	41,0	12,2	-	66,0	16,9	-	73,0	18,5	-	63,0	16,3	-	-

Примечания: 1 – Количество осадков, мм; 2 – Среднесуточная температура воздуха, °C; 3 – ГТК /
 Notes: 1 – Precipitation, mm; 2 – Average daily air temperature, °C; 3 – HTC

Недостаточная влагообеспеченность растений тритикале в период их наибольшей потребности в почвенной влаге отразилась на показателях продуктивности культуры. Различия в плотности посевов и уровне минерального питания ярового тритикале определили существенные отличия условий вегетации растений в вариантах опыта и отразились на показателях урожайности. Наиболее благоприятные для роста и развития растений ярового тритикале были агроклиматические условия 2020 года. Достаточное увлажнение почвенного профиля на протяжении всего периода вегетации и отсутствие значительных превышений среднесуточных температур воздуха от нормы позволило сформировать испытываемым сортам на удобренном фоне уровень зерновой продуктивности от 2,5 до 3,7 т/га (табл. 3). В годы с меньшей влагообеспеченностью уровень урожайности варьировал от 1,76 до 2,74 т/га в 2019 году и от 1,96 до 2,23 т/га в 2021 году.

Наиболее продуктивное использование растениями питательных веществ из почвы и минеральных удобрений обеспечивается при высоком уровне агротехники в сочетании с рациональным, грамотным и своевременным

применением удобрений. Более засушливыми и менее благоприятными были 2019 и 2021 годы. Хорошие запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-50 см в мае 2019 года позволили нивелировать отрицательное влияние проявившихся повышенных среднесуточных температур воздуха и недобор осадков. Однако июньская засуха негативно сказалась на продуктивности испытываемых сортов. На удобренных фонах все сорта тритикале по урожайности зерна достоверно превосходили контрольный сорт Ровня. Наибольший прирост урожайности от внесения минеральных удобрений отмечался у сортов: Ровня на 18-53 %, Саур – 9-32 %, Хайкар – 8-29 %, Савва – 16-34 %, Тимур – 24-48 %, Доброе – 14-40 %. Слабую реакцию на внесение различных доз NPK (с прибавкой 6-20 %) показал более позднеспелый сорт Заозерье с периодом вегетации 112 дней. Его наибольшая продуктивность 2,76 т/га получена на фоне основного внесения минеральных удобрений под предпосевную культивацию N₆₀P₆₀K₆₀. Наиболее продуктивным, независимо от доз внесенных удобрений, и существенно превосходящим по урожайности контрольный сорт тритикале Ровня отмечен

сорт Доброе с урожайностью зерна 2,7-3,8 т/га. Окупаемость килограмма минеральных удобрений зерном была очень низкой и составила 2-4 кг. В условиях 2019 года получение килограмма кормового зерна с низкой себестоимостью и уровнем рентабельности 25-60 %

было возможным при возделывании сортов ярового тритикале без применения удобрений, либо обладающих высокой отзывчивостью на внесение минеральных удобрений и обеспечивающих уровень урожайности более 3 т/га.

Таблица 3 – Влияние уровней минерального питания на урожайность сортов ярового тритикале, т/га (Опыт № 1) /

Table 3 – Effect of mineral nutrition levels on the yield of spring triticale varieties, t/ha (Variant No.1)

Доза удобрений, кг/га д.в. (B) / Fertilizer doses, kg/ha a. i. (B)	Год / Year	Сорт (A) / Variety (A)												
		Ровня, ст. Rovnya, st	Саур / Saur	Доброе / Dobroe	Заозерье / Zaozerie	КНИИСХ 11 / KNIIISKH 11	КНИИСХ 9 / KNIIISKH 9	КНИИСХ 22 / KNIIISKH 22	Савва / Savva	Тимур / Timur	Тимирязевская 42 / Timiryazevskaya 42	Слово / Slovo	Орден / Orden	Ботаническая 4 / Botanicheskaya 4
Без удобрений / Without fertilizing	2019	1,76	2,17	2,74	2,32	2,38	2,38	2,48	2,15	2,06	-	-	-	-
	2020	3,36	2,50	3,04	2,93	3,56	3,70	3,34	3,85	2,70	-	-	-	-
	2021	1,96	2,01	2,31	2,23	1,98	1,98	1,73	2,17	2,03	1,98	2,15	1,83	2,01
	Среднее / Average	2,36	2,23	2,70	2,49	2,64	2,69	2,52	2,63	2,26	-	-	-	-
N ₃₀ P ₆₀ K ₆₀	2019	2,18	2,59	3,68	2,66	2,77	2,88	2,81	2,65	3,04	-	-	-	-
	2020	4,36	4,29	4,85	3,95	4,61	5,18	4,27	4,56	4,03	-	-	-	-
	2021	2,14	2,03	2,73	2,58	1,89	2,23	1,67	2,63	2,13	1,79	2,58	1,68	1,90
	Среднее / Average	2,89	2,97	3,75	3,06	3,09	3,43	2,92	3,28	3,07	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	2019	2,69	2,86	3,84	2,76	2,88	3,40	2,97	2,88	2,74	-	-	-	-
	2020	4,47	4,44	4,67	4,07	4,64	5,18	4,25	4,69	4,78	-	-	-	-
	2021	2,10	1,98	2,61	2,49	1,83	2,21	1,63	2,48	2,08	1,81	2,57	1,64	1,94
	Среднее / Average	3,09	3,09	3,71	3,11	3,12	3,60	2,95	3,35	3,20	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₃₀	2019	2,06	2,44	3,36	2,32	2,68	2,61	2,58	2,77	2,82	-	-	-	-
	2020	4,22	4,23	4,55	4,11	4,46	4,71	4,30	4,59	4,47	-	-	-	-
	2021	2,07	1,84	2,73	2,63	1,95	2,15	1,68	2,33	2,08	1,91	2,41	1,79	1,87
	Среднее / Average	2,78	2,84	3,55	3,02	3,03	3,16	2,85	3,23	3,12	-	-	-	-
Среднее (A) / Average (A)		2,78	2,78	3,43	2,92	2,97	3,26	2,81	3,12	2,91	-	-	-	

2019 2020 2021

НСР₀₅ частных различий / LSD₀₅ private differences

0,30 0,21 0,16

НСР₀₅ (фактор A) / LSD₀₅ (factor A)

0,18 0,10 0,10

НСР₀₅ (фактор B) / LSD₀₅ (factor B)

0,08 0,10 0,11

В 2020 году на неудобренном фоне урожайность сортов ярового тритикале варьировала от 2,5 до 3,9 т/га. На этом фоне сорта

КНИИСХ 11, КНИИСХ 9 и Савва с уровнем урожайности соответственно 3,56, 3,70 и 3,85 т/га достоверно превысили стандартный

сорт Ровня (при $НСР_{05} = 0,10$ т/га). В вариантах с внесением минеральных удобрений урожайность зерна, в сравнении с неудобренным фоном, увеличилась у сорта Ровня на 20-33 %, Саур – 57-78 %, Савва – 5-22 %, Тимур – 39-77 %, Доброе – 42-60 %, Заозерье – 38-40 %, КНИИСХ 9 – 16-40 %, КНИИСХ 11 – 12-30 %, КНИИСХ 22 – 22-28 %. Наибольшую зерновую продуктивность сорта обеспечивали на фоне внесения $N_{60}P_{60}K_{60}$ в фазу «кущение»: КНИИСХ 11 (4,6 т/га), КНИИСХ 9 (5,18 т/га), Савва (4,69 т/га), Тимур (4,78 т/га). Сорт Доброе с урожайностью 4,85 т/га был наиболее продуктивен в варианте с основным внесением минеральных удобрений $N_{30}P_{60}K_{60}$. Продуктивность сортов Заозерье (4,11 т/га) и КНИИСХ 22 (4,30 т/га) была наивысшей на фоне применения $N_{60}P_{60}K_{60} + N_{30}$ в фазу «кущение».

В 2021 году засушливые условия проявились в конце первой и большей части второй половины вегетации. К этому времени растения тритикале успели хорошо раскуститься, но в процессе вегетации боковые стебли либо погибли, либо сформировали низкопродуктивный колос с количеством зерен от 3 до 5 шт. Урожай формировался за счет колоса главного стебля, особенностью которого были наличие щуплого зерна и меньшая озерненность. Сорта Слово, Доброе, Ровня и Савва в меньшей степени пострадали от засухи. На фоне возделывания без удобрений зерновая продуктивность испытуемых сортов составила от 1,83 до 2,31 т/га, наибольшей продуктивностью отличился сорт Доброе. Сорта Слово и Савва достоверно превысили по урожайности стандартный сорт Ровня. Зерновая продуктивность всех других испытуемых сортов на неудобренном фоне была достоверно ниже стандартного сорта Ровня. У сортов Тимирязевская 42, Ботаническая 4, Орден, КНИИСХ 22, КНИИСХ 11, наоборот, на удобренных фонах наблюдали достоверное снижение зерновой продуктивности в сравнении с неудобренным. Структурный анализ снопа показал, что данные сорта лучше других раскустились, но в условиях недостатка доступной влаги боковые стебли к уборке урожая засохли, а главный стебель был менее продуктивным. Достоверную прибавку зерновой продуктивности в сравнении со стандартом Ровня большинство сортов обеспечивали в вариантах с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{60}K_{60}$ под предпосевную культивацию: КНИИСХ 9 – 2,23 т/га, Савва – 2,63, Доброе – 2,73, Слово – 2,58 т/га.

Увеличение дозы азота под предпосевную культивацию и внесение азотной подкормки в фазу «кущение» в 2021 году, в связи с погодными особенностями, было неэффективным.

Тритикале, как полевая культура, нуждается в наличии оптимальных условий среды обитания в соответствии с её биологическими особенностями [26]. Одним из агротехнических приёмов в технологии возделывания тритикале ярового является норма высева, позволяющая оптимизировать освещённость и площадь питания – факторы, которые оказывают прямое влияние на результативность фотосинтетической деятельности посева. Эффективность данного процесса и, как следствие, урожай зависят от планирования посева как фотосинтезирующей системы. Поэтому изучение возможностей оптимизации данной системы – одна из актуальных проблем кормопроизводства в целом [27].

Изучение влияния нормы высева семян на устойчивость агрофитоценозов и их зерновую продуктивность проводили на сорте Доброе, который районирован по Республике Марий Эл с 2020 года, на двух фонах минерального питания. Наибольший урожай зерна сорт Доброе обеспечил в 2020 году (табл. 4). Огромное значение для формирования таких показателей урожайности имели сложившиеся агроклиматические условия.

Во всех вариантах с нормами высева на фоне предпосевного внесения минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{30}K_{30}$ зерновая продуктивность сорта Доброе в 2020 году варьировала от 4,5 до 5,5 т/га. В засушливом 2021 году уровень урожайности зерна получен в 2 раза ниже (2,25-2,75 т/га). Азотная подкормка в условиях достаточного почвенного увлажнения способна компенсировать недостаток питательных веществ в почве и повысить продуктивность зерновых культур на малоплодородном фоне. Сравнительное изучение влияния внесения дозы N_{60} под предпосевную культивацию и варианта дробного внесения (N_{30} – под культивацию + N_{30} – в подкормку в фазу «кущение») на зерновую продуктивность тритикале выявило неоспоримое преимущество предпосевного внесения N_{60} . Полученные данные исследований согласуются с результатами структурного анализа отобранного снопового материала. Важнейшим элементом, оказывающим огромное значение на величину урожая, является выполненность зерна, или масса 1000 зерен. Результаты опыта показали, что предпосевное внесение $N_{60}P_{30}K_{30}$ положи-

тельно влияло на выполненность зерна и массу зерна с колоса. В условиях 2020 года масса 1000 семян варьировала от 38,5 до 50,3 г. В 2021 году получили более щуплое зерно с

массой 1000 семян от 28 до 39 г. Наиболее выполненное зерно получено в моделируемом агрофитоценозе тритикале с нормой высева 4 млн всхожих семян на га.

Таблица 4 – Влияние минерального питания на урожайность ярового тритикале сорта Доброе при разных нормах высева, т/га (среднее за 2020-2021 гг., опыт №2) /

Table 4 – Effect of mineral nutrition on the yield of spring triticale variety Dobroe with different seeding rates, t/ha (average for 2020-2021, variant No. 2)

Норма высева (фактор B) / Seeding rate (factor B)	Доза внесения удобрений (фактор A) / Doses of fertilizer application (factor A)				Среднее (B) / Average (B)	
	$N_{60}P_{30}K_{30}$		$N_{30}P_{30}K_{30} + N_{30}$		2020 г.	2021 г.
	2020 г.	2021 г.	2020 г.	2021 г.		
3 млн всхожих семян/га (контроль) / 3 million germinating seeds/ha (control)	5,20	2,42	5,00	2,15	5,10	2,28
4	5,50	2,75	5,10	2,53	5,30	2,64
5	4,50	2,25	4,10	1,85	4,30	2,05
Среднее (A) / Average (A)	5,06	2,47	4,73	2,18	-	-
HCP ₀₅ частных различий / LSD ₀₅ private differences	0,48	0,28				
HCP ₀₅ фактор A / LSD ₀₅ Factor A	0,28	0,16				
HCP ₀₅ фактор B / LSD ₀₅ Factor B	0,34	0,14				

Таким образом, в среднем за два года исследований наибольшую устойчивость к условиям среды наблюдали в моделируемом агрофитоценозе тритикале сорта Доброе при норме высева 4 млн всхожих семян на гектар. Его зерновая продуктивность достигала 4,12 т/га, что на 8 % выше контроля и на 22 % выше, чем в варианте с нормой высева 5 млн/га. В данном варианте получен и наибольший уровень рентабельности (69 %) производства кормового зерна. Увеличение нормы высева до 5 млн всхожих семян на гектар и дробное внесение азотного удобрения привело к уменьшению зерновой продуктивности моделируемого агрофитоценоза ярового тритикале.

Заключение. Контрастные агроклиматические условия в годы исследований позво-

лили выявить сорта ярового тритикале с минимальной реакцией на неблагоприятные условия увлажнения. К таковым относятся сорта Доброе, Савва и КНИИСХ 9. В 2020 году наиболее рентабельным производство кормового зерна отмечено в вариантах с внесением минеральных удобрений. В засушливые годы (2019 и 2021 гг.), напротив, в вариантах без применения удобрений. В условиях Республики Марий Эл сорт ярового тритикале Доброе наибольшую зерновую продуктивность (2,8-5,5 т/га) обеспечивал в моделируемом агрофитоценозе с нормой высева 4 млн всхожих семян на гектар на фоне предпосевного внесения минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{30}K_{30}$.

Список литературы

1. Новоселов С. И., Куikliна Т. Е., Гусева О. С. Влияние удобрений на урожайность сортов яровой тритикале в условиях дерново-подзолистых почв Республики Марий Эл. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2017;3(4 (12)):27-31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32321197>
2. Лапшин Ю. А., Новоселов С. И., Данилов А. В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность ярового тритикале в условиях Республики Марий Эл. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019;(56):74-81. DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13074>
3. Скатова С. Е. Организация селекции зерновых культур как фактор ее эффективности и конкурентоспособности. Владимирский земледелец. 2017;(3(81)):2-5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30006096>
4. Бирюков К. Н., Грабовец А. И., Крохмаль А. В. Некоторые аспекты технологии возделывания ярового тритикале на севере Ростовской области. Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки: мат-лы Междунар. науч.-практ. конф. Ч. II. Тритикале. Агротехника, физиология, технология и продукты переработки зерна. Ростов-на-Дону, 2016. С. 6-13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27324628&selid=27324640>

5. Федюшкин А. В., Пасько С. В., Парамонов В. А. Развитие растений ярового тритикале в зависимости от предшественника и доз азотных удобрений. Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки: мат-лы 8-й Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2018. С. 209-216. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35609766>
6. Тысленко А. М., Скатова С. Е., Зуев Д. В., Лачин А. Г. Итоги селекции ярового тритикале в Верхневолжском федеральном аграрном научном центре. Зернобобовые и крупяные культуры. 2020;(2(34)):90-95. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11175>
7. Тысленко А. М., Зуев Д. В. Продуктивность перспективных селекционных линий яровой тритикале в условиях Владимирской области. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2020;8(47):92-95. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10937>
8. Асеева Т. А., Зенкина К. В. Экологическая устойчивость тритикале к неблагоприятным факторам окружающей среды. Юг России: экология, развитие. 2020;15(1):49-59. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-49-59>
9. Скатова С. Е., Тысленко А. М. Новый сорт яровой тритикале для диверсификации кормопроизводства. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(4(20)):100-103. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27471665>
10. Абделькави Р. Н. Ф. Сравнительная характеристика отдельных генотипов яровой тритикале по признакам урожайности и качества зерна. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы V Междунар. научн.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 3-6. Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf>
11. Алтынова Н. В., Мефодьев Г. А. Сортовое разнообразие тритикале яровой в Волго-Вятском регионе. Рациональное природопользование и социально экономическое развитие сельских территорий как основа эффективного использования АПК региона: мат-лы Всероссийск. научн.-практ. конф. Чебоксары: Чувашская ГСХА, 2017. С. 34-39.
12. Ковтуненко В. Я., Панченко В. В., Калмыш А. П. Новый сорт яровой тритикале Савва. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы V Междунар. научн.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 81-84. Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf>
13. Рябчун В. К., Мельник В. С., Капустина Т. Б., Щеченко О. Е. Урожайність тритикале ярового та її стабільність залежно від генотипу та умов середовища. Plant varieties and protection. 2016;(1):37-44. Режим доступа: <http://journal.sops.gov.ua/article/view/61765/57524>
14. Ковтуненко В. Я., Панченко В. В., Калмыш А. П. Совместные сорта как результат экологического сортоиспытания. Тритикале и стабилизация производства зерна, кормов и продуктов их переработки: мат-лы 8-й Междунар. науч.-практ. конф. Ростов-на-Дону, 2018. С. 72-79. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36274482&pff=1>
15. Gill K. S., Omokanye A. T. Spring Triticale Varieties Yield, Nutrients Composition and Suitability for Beef Cattle Production. Journal of Agricultural Science. 2016;8(10):1-14. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v8n10p1>
16. Wysokinski A., Kuziemska B. The sources of nitrogen for yellow lupine and spring triticale in their intercropping. Plant Soil Environ. 2019;65:145-151. DOI: <https://doi.org/10.17221/644/2018-PSE>
17. Janauskaite D., Feiziene D., Feiza V. Nitrogen-induced variations in leaf gas exchange of spring triticale under field conditions. Acta. Physiologiae Plantarum. 2017;39:193. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2495-5>
18. Федюшкин А. В., Пасько С. В. Развитие растений ярового тритикале в зависимости от предшественника и азотных удобрений. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018;(8):73-77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35619972>
19. Manni K., Lötjönen T., Huuskonen A. Comparing spring triticale varieties to barley and wheat varieties when harvested as whole crop. Agricultural and Food Science. 2021;30:24-35. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.100693>
20. Новосёлов С. И., Хлебников И. Г., Горохов С. А. Эффективность минеральных удобрений в севооборотах с разными видами паров. Плодородие. 2011;(5):21-22. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16972866>
21. Зинченко В. Е., Кулыгин В. А., Гринько А. В., Вошедский Н. Н. Влияние приёмов возделывания на урожайность яровой тритикале в условиях обыкновенных чернозёмов. Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2018;(4(32)):250-265. DOI: <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2018-4-250-265>
22. Пшеничко Н. М., Тощев В. С. Влияние нормы высева на урожайность и качество зерна ярового тритикале. Совершенствование технологий производства и повышение качества продуктивности растениеводства. Н.Новгород, 2008. С. 28-30.
23. Гринько А. В., Кулыгин В. А. Влияние нормы высева семян при различных способах основной обработки почвы на урожайность яровой тритикале. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018;(2):106-110. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32637648>
24. Brown M. E., de Beurs K. M., Marshall M. Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years. Remote Sensing of Environment. 2012;126:174-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.08.009>
25. Шекутьева Н. А. Влияние агрометеорологических факторов на продуктивность перспективных сортов ярового тритикале. Молочнохозяйственный вестник. 2016;(2):60-66. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26336755>

26. Муратов А. А. Влияние густоты посева на площадь листовой поверхности растений ярового тритикале. Наука и инновации – современные концепции: сб. научн. ст. по итогам работы Международ. научн. форума. Т. 2. Отв. ред. Д. Р. Хисматуллин. М.: Изд-во Инфинити, 2019. С.97-100.

27. Троц В. Б. Фотосинтез и продуктивность одновидовых и бинарных посевов силосных культур. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2010;(3):123-126.

Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14868940>

References

1. Novoselov S. I., Kuklina T. E., Guseva O. S. Effect of fertilizers on the yieldity of summer triticales in the conditions of sod-podzolic soils of the Republic of Mari El. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2017;3(4 (12)):27-31. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32321197>

2. Lapshin Yu. A., Novoselov S. I., Danilov A. V. Influence of mineral fertilizers on the productivity of spring triticales in the conditions of the Republic of Mari El. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2019;(56):74-81. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-13074>

3. Skatova S. E. Organization of breeding of cereal crops as a factor of its efficiency and competitiveness. *Vladimirskiy zemledelets* = Vladimir agriculturist. 2017;(3(81)):2-5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30006096>

4. Biryukov K. N., Grabovets A. I., Krokhmal A. V. Some aspects of technology of cultivation of spring triticales Rostov region in the north. Triticales and stabilization of grain production, feed and products of their processing: Proceedings of the International scientific and practical Conference. Part II. Triticales. Agrotechnics, physiology, technology and grain processing products. Rostov-na-Donu, 2016. pp. 6-13. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27324628&selid=27324640>

5. Fedyushkin A. V., Pasko S. V., Paramonov V. A. Of plants of spring triticales depending on predecessors and doses of nitrogen fertilizers. Triticales and stabilization production of grain, fodder and products of their processing: Proceedings of 8-th International Scientific-Practical Conference. Rostov-na-Donu, 2018. pp. 209-216. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35609766>

6. Tyslenko A. M., Skatova S. E., Zuev D. V., Lachin A. G. Results of selection of spring triticales in the upper Volga Federal Agricultural Research Center. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2020;(2(34)):90-95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-348X-2020-11175>

7. Tyslenko A. M., Zuev D. V. Productivity of prospective breeding lines spring triticales in the conditions of the Vladimir region. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2020;8(47):92-95. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2020-10937>

8. Aseeva T. A., Zenkina K. V. Environmental Sustainability of Triticales to Adverse Environmental Factors. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* = South of Russia: ecology, development. 2020;15(1):49-59. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2020-1-49-59>

9. Skatova S. E., Tyslenko A. M. A new variety of spring triticales to diversify fodder. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2016;(4(20)):100-103. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27471665>

10. Abdelkavi R. N. F. Comparative characteristics of individual genotypes of spring triticales on the basis of yield and grain quality. Methods and Technologies in Plant Breeding and Crop Production: Proceedings of the V International scientific and practical Conference. Kirov: FANC Severo-Vostoka, 2019. pp. 3-6. URL: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf>

11. Altyanova N. V., Mefodev G. A. Varietal diversity of spring triticales in the Volgo-Vyatka region. Rational nature management and socio-economic development of rural areas as the basis for the effective use of the region's agro-industrial complex: Proceedings of the All-Russian scientific and practical. conf. Cheboksary: *Chuvashskaya GSKhA*, 2017. pp. 34-39.

12. Kovtunen V. Ya., Panchenko V. V., Kalmysh A. P. A new variety of spring triticales Savva. Methods and Technologies in Plant Breeding and Crop Production: Proceedings of the V International Scientific and Practical Conference. Kirov: FANC Severo-Vostoka, 2019. pp. 81-84. URL: <http://fanc-sv.ru/uploads/docs/2019/Konferenciya-Batalova-2019.pdf>

13. Riabchun V. K., Melnyk V. S., Kapustina T. B., Shchechenko O. E. Spring triticales yield and its stability depending on the genotype and environmental conditions. Plant varieties and protection. 2016;(1):37-44. (In Ukraine). URL: <http://journal.sops.gov.ua/article/view/61765/57524>

14. Kovtunen V. Ya., Panchenko V. V., Kalmysh A. P. Joint varieties as a result of ecological variety testing. Triticales and stabilization production of grain, fodder and products of their processing: Proceedings of 8-th International Scientific-Practical Conference. Rostov-na-Donu, 2018. С. 72-79. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36274482&pf=1>

15. Gill K. S., Omokanye A. T. Spring Triticales Varieties Yield, Nutrients Composition and Suitability for Beef Cattle Production. *Journal of Agricultural Science*. 2016;8(10):1-14. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v8n10p1>

16. Wysokinski A., Kuziemska B. The sources of nitrogen for yellow lupine and spring triticales in their intercropping. *Plant Soil Environ*. 2019;65:145-151. DOI: <https://doi.org/10.17221/644/2018-PSE>

17. Janusauskaite D., Feiziene D., Feiza V. Nitrogen-induced variations in leaf gas exchange of spring triticales under field conditions. *Acta. Physiologiae Plantarum*. 2017;39:193. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-017-2495-5>

18. Fedyushkin A. V., Pasko S. V. Development of plants of spring triticales depending on predecessor and nitrogen fertilizer. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018;(8):73-77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35619972>
19. Manni K., Lötjönen T., Huuskonen A. Comparing spring triticales varieties to barley and wheat varieties when harvested as whole crop. *Agricultural and Food Science*. 2021;30:24-35. DOI: <https://doi.org/10.23986/afsci.100693>
20. Novoselov S. I., Khlebnikov I. G., Gorokhov S. A. Efficiency of mineral fertilizers in crop rotations with different fallows. *Plodородie*. 2011;(5):21-22. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16972866>
21. Zinchenko V. E., Kulygin V. A., Grinko A. V., Voshedskiy N. N. The influence of elements of cultivation technology on spring triticales yield under the conditions of ordinary chernozems. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii* = Scientific Journal of Russian Scientific Research Institute of Land Improvement Problems. 2018;(4(32)):250-265. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31774/2222-1816-2018-4-250-265>
22. Pshenichko N. M., Toshchev V. S. Influence of the seeding rate on the yield and quality of spring triticales grain. Improvement of production technologies and improvement of the quality of crop production productivity. N. Novgorod, 2008. pp. 28-30.
23. Grinko A. V., Kulygin V. A. The effect of seeding under different methods of primary tillage on yield of spring triticales. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018;(2):106-110. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32637648>
24. Brown M. E., de Beurs K. M., Marshall M. Global phenological response to climate change in crop areas using satellite remote sensing of vegetation, humidity and temperature over 26 years. *Remote Sensing of Environment*. 2012;126:174-183. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.08.009>
25. Shekut'eva N. A. The effect of agrometeorological conditions on the productivity of promising spring triticales varieties. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2016;(2):60-66. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26336755>
26. Muratov A. A. Influence of sowing density on the leaf surface area of spring triticales plants. Science and innovation - modern concepts: Collection of scientific articles based on the results of the work of the international scientific forum. Vol. 2. *Otv. red. D. R. Khismatullin*. Moscow: *Izd-vo Infiniti*, 2019. pp.97-100.
27. Trots V. B. Photosynthesis and productivity of single-species and binary crops of silage crops. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2010;(3):123-126. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14868940>

Сведения об авторах

✉ **Лапшин Юрий Алексеевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий 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/0000-0002-5701-4118>, e-mail: yuri2.lapshin@gmail.com

Максимов Владимир Алексеевич, кандидат с.-х. наук, заведующий отделом, 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/0000-0002-1584-9491>

Золотарева Римма Ивановна, 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/0000-0003-3538-0202>

Information about the authors

✉ **Yuri A. Lapshin**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agricultural 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/0000-0002-5701-4118>, e-mail: yuri2.lapshin@gmail.com

Vladimir A. Maksimov, DSc in Agricultural Science, Head of the Department, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agricultural 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/0000-0002-1584-9491>

Rimma I. Zolotareva, senior researcher, Mari Agricultural Research Institute – branch of Federal Agricultural 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/0000-0003-3538-0202>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников, удобрений и известкования

© 2022. Л. Н. Прокина✉, С. В. Пугаев

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

Исследования проводили с целью сравнительной характеристики предшественников озимой пшеницы на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом в условиях Республики Мордовия. Объект исследования – озимая пшеница сорта Мироновская 808, выращиваемая в зернотравяно-паропропашном (1996-1997 гг.) и зернотравяно-пропашном (2008-2009 гг.) севооборотах, где ее предшественниками были чистый пар и люцерна 3 г. п. В контрольном варианте (без внесения извести и минеральных удобрений) урожайность озимой пшеницы по чистому пару составила 3,27 т/га, после многолетних трав – 3,72 т/га. Известкование почвы, проведенное в 1989-1990 гг. и 1999-2000 гг., не вносило значимых изменений в урожайность культуры, но совместное действие с удобрениями в зернотравяно-паропропашном севообороте на фоне известкования по 1,0 г. к. способствовало получению большей прибавки (0,43 т/га), чем на фоне известкования по 0,5 г. к. (0,28 т/га). В зернотравяно-пропашном, наоборот – на фоне известкования по 0,5 г. к. зерна получено больше (0,74 т/га), чем на фоне по 1,0 г. к. (0,51 т/га). Действие удобрений без извести оценивалось меньшей прибавкой урожайности – 0,36 и 0,78 т/га соответственно севооборотам. С учетом окупаемости 1 кг д. в. минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна и дополнительным доходом можно рекомендовать, кроме фосфорно-калийных, применение азотного удобрения в подкормку в следующих дозах: в зернопаротравяно-пропашном севообороте – не более 30 кг д. в., в зернотравяно-пропашном – 30-60 кг д. в. на фоне известкования почвы по 0,5 г. к.

Ключевые слова: чистый пар, бобовые травы, озимая пшеница, средства химизации, окупаемость, дополнительный доход

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прокина Л. Н., Пугаев С. В. Урожайность озимой пшеницы в зависимости от предшественников, удобрений и известкования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):318-326.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.318-326>

Поступила: 05.04.2022

Принята к публикации: 27.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Yield of winter wheat depending on precursors, fertilizers and liming

© 2022. Lyudmila N. Prokina✉, Sergey V. Pugaev

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

The research was aimed at comparing the characteristics of winter wheat precursors on leached heavy loam chernozem in the conditions of the Republic of Mordovia. The object of the study was winter wheat of the Mironovskaya 808 variety, grown in grain-grass-fallow-row (1996-1997) and grain-grass-row (2008-2009) crop rotations, where the precursors were pure fallow and lucerne grass of the 3d year of use. In the control variant (without lime and mineral fertilizers), the crop yield after pure fallow was 3.27 t/ha, after perennial grasses it was 3.72 t/ha. Liming of the soil introduced in 1989-1990 and 1999-2000 did not make significant changes in crop yield, but the combined action with fertilizers in the grain-grass-fallow-row crop rotation against the background of liming by 1.0 h. a. contributed to a greater increase (0.43 t/ha) than against the background of liming by 0.5 h. a. (0.28 t/ha). In grain-grass-row crop rotation, on the contrary, against the background of liming by 0.5 h. a, more grain was obtained (0.74 t/ha), than against the background of 1.0 h. a (0.51 t/ha). The effect of fertilizers without lime was estimated by a less increase in yield – 0.36 and 0.78 t/ha, respectively by crop rotations. Taking into account the payback of 1 kg a.i. of mineral fertilizers with an additional grain yield and additional income, the following doses can be recommended in addition to phosphorus-potassium: the use of nitrogen fertilizer in the top-dressing in the following doses: in the grain-fallow-grass-row crop rotation not more than 30 kg a. i., in grain-grass-row – 30-60 kg a.i. against the background of soil liming by 0.5 h. a.

Keywords: pure fallow, legumes, winter wheat, chemicals, payback, additional income

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

The authors 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 citations: Prokina L. N., Pugaev S. V. Yield of winter wheat depending on precursors, fertilizers and liming. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):318-326. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.318-326>

Received: 05.04.2022

Accepted for publication: 27.05.2022

Published online: 23.06.2022

Озимая пшеница является важнейшей зерновой культурой в России, поэтому повышение ее продуктивности – одна из основных задач товаропроизводителя. В технологии ее возделывания существенным является правильное сочетание всех основных приемов: размещение в севообороте; способы обработки почвы; удобрения [1]. В связи с этим возрастает роль элементов системы возделывания озимой пшеницы, в частности, применение научно обоснованных систем удобрения культуры в совокупности с размещением в севообороте по наилучшим предшественникам [2]. Применение удобрительных туков значительно увеличивает продуктивность культуры при оптимальном минеральном питании как по паровым, так и не паровым предшественникам [3]. Озимая пшеница очень требовательна к предшественникам, от них зависит наличие влаги в почве ко времени ее сева, дружность всходов, фитосанитарное состояние, урожайность и качество зерна. По современным представлениям лучший предшественник, способствующий формированию оптимального урожая с хорошими показателями качества зерна – черный пар. Однако существует и другое мнение, что черный пар является экономически невыгодным. Как недостаток, так и избыток его в севообороте ведет к снижению продуктивности. В этом отношении научно обоснованные севообороты, максимально адаптированные к местным условиям с достаточной долей почво-восстанавливающих культур, имеют первостепенное значение [4]. Так, при возделывании озимой пшеницы на черноземе обыкновенном лучшим считают черный пар, а среди непаровых предшественников первое место занимают бобовые травы – люцерна третьего года, горох, подсолнечник и кукуруза на силос. Максимум урожайности в контрольном варианте был зафиксирован по черному пару – 49,1 ц/га, несколько меньше по люцерне – 47,6 ц/га и гороху – 46,9 ц/га [5]. У сортов озимой пшеницы Золушка, Донская лира и Донэко урожайность (4,56, 4,62 и 4,1 т/га соответственно) по черному пару была в 1,8 раза больше, чем по подсолнечнику, а удобрения увеличивали ее по обоим предшественникам [6]. Использование черного

пара на черноземе выщелоченном среднемощном тяжелосуглинистом в качестве предшественника озимой пшеницы сорта Безенчукская 380 в Пензенской области способствовало получению урожайности – 3,45, по сидеральному – 3,37, занятому – 3,33 т/га [7]. В условиях Центрально-Черноземной зоны (ЦЧЗ) лучшими предшественниками культуры были чистые пары, среди бобовых культур – эспарцет различного вида использования [8]. На полях Ростовской области получение урожая озимой пшеницы более 60,0 ц/га по чистому пару, более 50,0 ц/га – после непаровых предшественников и более 38,0 ц/га – после ячменя возможно при внесении на 1 га площади зернопаропропашного севооборота без люцерны 6 т навоза и $N_{44}P_{30}K_{24}$ минеральных удобрений, в севообороте с люцерной – 4 т навоза и $N_{27}P_{31}K_{27}$ [9]. В условиях юго-запада ЦЧЗ использование в качестве предшественников гороха, многолетних трав и черного пара обеспечивало среднепогодную урожайность в контроле не менее 30,0 ц/га. Внесение одинарных и двойных доз минеральных удобрений увеличивало ее на 20-40 %, при этом преимущество было во всех вариантах за черным паром. Применение как минеральных, так и органических удобрений в звеньях севооборотов с горохом и эспарцетом было более эффективно относительно звена с черным паром [10].

Данные об урожайности озимой пшеницы на черноземах выщелоченных в условиях Мордовии имеются [11, 12], но сравнительной оценки зависимости урожайности культуры от предшественников не дано, что и послужило необходимостью изучения данного вопроса.

Цель исследований – изучение влияния предшественников на фоне применения средств химизации на урожайность озимой пшеницы.

Научная новизна – показана зависимость урожайности культуры от различных предшественников на фоне известкования и минеральных удобрений в полевом севообороте.

Материал и методы. Работа выполнена на опытном поле Мордовского НИИ сельского хозяйства – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого 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. Представлены результаты исследований за 1997-1998 и 2008-2009 годы, где озимая пшеница сорта Миrowsкая 808 возделывалась по чистому пару и многолетним бобовым травам (люцерна).

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. Во втором блоке опыта рассматривали действие различных уровней минерального питания: 1 – без удобрений с 1972 г. (контроль); 2 – фосфорно-калийные удобрения (РК – фон); 3 – РК + N_1 ; 4 – РК + N_2 ; 5 – РК + N_3 . Дозы минеральных удобрений (д. в.) под озимую пшеницу в 1996-1997 гг. составили – $\text{P}_{50}\text{K}_{70}$, N_1 – 30, N_2 – 45, N_3 – 60; в 2008-2009 гг. – $\text{P}_{50}\text{K}_{80}$, N_1 – 30, N_2 – 60, N_3 – 90. В зернопаротравяно-пропашном севообороте выращивали: ячмень + люцерна – люцерна 1 г. п. – люцерна 2 г. п. – люцерна 3 г. п. – люцерна 4 г. п. – пар – озимая пшеница – яровая пшеница – соя – яровая пшеница – соя.

По причине изреженности и гибели растений на первой закладке в 1995 г., второй закладке – в 1996 г. посевы озимой пшеницы списали, а чередование культур в экспериментальных севооборотах прервали полем чистого пара. В 2008-2009 гг. зернопаротравяно-пропашной севооборот был представлен следующими культурами: 1 – яровая пшеница + люцерна – люцерна 1 г. п. – люцерна 2 г. п. – люцерна 3 г. п. – озимая пшеница – яровая пшеница – соя – овес.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый с 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 %.

Подготовка почвы под посев озимой пшеницы предусматривала двойное дискование

многолетних трав после первого укоса, после гибели озимых поле также было задисковано. Затем после подсыхания растительных остатков была проведена культивация агрегатом МТЗ-1221 + КНК-7,2 с одновременным прикатыванием. В последующем данная обработка почвы проводилась по мере необходимости. Норма высева 5,5 млн всхожих семян. Сев проводили семенами, обработанными фунгицидом. Средства защиты применяли фоном во всех вариантах опыта, весной в фазу «начало кущения» посеы обрабатывали баковой смесью гербицидов Зерно Макс (0,45 л/га) и Магnum (70 г/га). Минеральные удобрения в форме двойного суперфосфата и хлористого калия вносили вручную под основную обработку почвы, аммиачную селитру – весной в подкормку в соответствии со схемой опыта. Известкование проводили один раз за ротацию севооборота (осень 1989 г., 1990 г. и 1999 г., 2000 г.). В качестве известкового удобрения использовали известняковую муку ГУП Атемарского завода стройматериалов. Дозы известковых удобрений рассчитывали по гидролитической кислотности: 0,5 г. к. – 5 т/га, по 1,0 г. к. – 10 т/га извести.

Расположение вариантов в опыте рендомизированное, наложение факторов методом расщепленных делянок. Повторность в опыте трехкратная. Посевная площадь делянки 75 м^2 ($7,5 \times 10 \text{ м}$), учетная – 60 м^2 ($6 \times 10 \text{ м}$).

Учет урожая озимой пшеницы в опыте проводили прямым комбайнированием, методом поделяночного обмолота комбайном Дон-1500 со специальным приспособлением для сбора малой массы зерна. Результаты переведены на 100 % чистоту и 14 % влажность. Данные по урожайности обрабатывали методом дисперсионного анализа². Технология возделывания озимой пшеницы и ее предшественников традиционная для зоны проведения исследований³.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы проведения исследований были различными, но типичными для зоны опыта (табл. 1). В целом вегетационные периоды 1996 и 2008 гг. по гидротермическим условиям характеризовались как нормальные, 1997 и 2009 гг. – как с недостаточным увлажнением.

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

²Там же.

³Адаптивные технологии возделывания сельскохозяйственных культур в условиях Республики Мордовии: методическое руководство. Под ред. А. М. Гурьянова. Саранск: Изд-во Мордовского ун-та, 2003. 428 с.

Таблица 1 – Метеорологические показатели в годы проведения исследований /
Table 1 – Meteorological indicators in the years of research

Год / year	Количество осадков, мм / Amount of precipitation, mm				Сумма среднесуточных температур, °C / The sum of average daily temperatures, °C				ГТК / HTC			
	апрель / april	май / may	июнь / june	июль / july	апрель / april	май / may	июнь / june	июль / july	апрель / april	май / may	июнь / june	июль / july
1996	8	35	116	49	111	536	525	614	-	0,8	2,3	0,8
1997	89	41	62	25	150	378	603	570	-	1.4	1.0	0.4
2008	15	60	66	57	293	388	459	611	0,8	1,5	1,4	0,9
2009	38	50	34	43	132	416	559	616	-	1.2	0.6	0.9
Среднее много- летнее / Average multi-year	-	44	55	70	-	415	513	589	-	1.1	1.1	1.2

В результате проведенных исследований в 1996-1997 гг. установлено, что сбор зерна озимой пшеницы в естественных условиях в контрольном варианте по чистому пару составил 3,27 т/га (табл. 2). Внесение фосфорно-калийных удобрений увеличивало продуктивность культуры на 0,23 т/га. Достоверные прибавки к РК-варианту (0,26, 0,15 и 0,13 т/га) получены при внесении полного минерального удобрения с дозами азота 30, 45 и 60 кг д. в./га. Доля участия удобрений в величине урожайности составляла от 6,6 до 13,0 %.

Совместное действие известкования и минеральных удобрений имело существенное влияние на урожайность культуры, которое проявлялось в увеличении прибавок от удобрений на фоне известкования по 1,0 г. к. – 0,31-0,44 т/га, известкование по 0,5 г. к. – 0,25-0,41 т/га. Наибольшая прибавка (0,54 т/га) получена в варианте N₃₀P₅₀K₇₀ на фоне известкования почвы по 1,0 г. к. В среднем от совместного действия извести и удобрений на фоне известкования по 1,0 г. к. дополнительно получено 0,43 т/га зерна озимой пшеницы, что больше на 0,15 т/га, чем на фоне с известкованием по 0,5 г. к. (0,28 т/га). На фоне известкования почвы по 0,5 и 1,0 г. к. доля участия удобрений в сборе урожая составляла от 5,7 до 10,60 % и от 8,6 до 14,1 % соответственно.

При оценке эффективности действия удобрений важна окупаемость затрат на их применение (табл. 3). Наибольшая окупаемость

1 кг д. в. минеральных удобрений получена в варианте N₃₀P₅₀K₇₀ на фоне с известкованием по 1,0 г. к. – 3,60 кг/кг и на фоне без известкования – 3,27 кг/кг. В этих вариантах зафиксирована и самая высокая окупаемость минерального азота в составе полного минерального удобрения – 8,67 и 7,67 кг/кг соответственно. В целом по опыту окупаемость 1 кг д. в. уменьшалась с увеличением дозы азота в составе полного минерального удобрения 2,85–2,44–1,87 кг, для фосфорно-калийного варианта – 2,19 кг зерна. Дополнительный доход составил соответственно 1,75–1,70–1,62 и 1,82 руб/руб.

Таким образом, урожайность культуры по чистому пару в контрольном варианте составила – 3,27 т/га, в вариантах с внесением минеральных удобрений увеличилась на 8-13 %.

В зернотравяно-пропашном севообороте в среднем за 2 года (2008-2009 гг.) урожайность озимой пшеницы в варианте абсолютного контроля составила 3,72 т/га (табл. 4). Применение РК-удобрений способствовало росту продуктивности культуры на 0,35 т/га, от полного минерального удобрения дополнительно получено 0,30-0,79 т/га по сравнению с фосфорно-калийным вариантом (4,07 т/га). Самый высокий сбор зерна пшеницы 4,86 т/га и наибольшая прибавка 1,14 т/га (контроль 3,72 т/га) получены на фоне без известкования в варианте N₉₀P₅₀K₈₀. Доля участия минеральных удобрений в величине урожайности составляла от 8,6 до 23,4 %.

Таблица 3 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости от изучаемых факторов (зернотравяно-паропропашной севооборот, среднее за 1996-1997 гг.) / Table 3 – Payback of mineral fertilizers while growing winter wheat Mironovskaya 808 depending on the studied factors (grain-grass-fallow-row crop rotation, average for 1996-1997)

Удобрения / Fertilizers	Продуктивность в контроле и прибавка, т/га / Productivity under control and increase, t/ha		Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers	
	от PK / from PK	от NPK / from NPK	дополнительным урожаем зерна, кг / by additional grain yield, kg	дополнительным доходом руб/руб / by additional income, rub/rub
Без известкования (контроль) / Without liming (control)				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,27	-	-	-
2. P ₅₀ K ₇₀	0,23		1,91	1,79
3. N ₃₀ P ₅₀ K ₇₀		0,49	3,26	1,76
4. N ₄₅ P ₅₀ K ₇₀		0,38	2,30	1,69
5. N ₆₀ P ₅₀ K ₇₀		0,36	2,00	1,61
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h.a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,45	-	-	-
2. P ₅₀ K ₇₀	0,25		2,08	1,86
3. N ₃₀ P ₅₀ K ₇₀	-	0,25	1,67	1,71
4. N ₄₅ P ₅₀ K ₇₀	-	0,41	2,48	1,73
5. N ₆₀ P ₅₀ K ₇₀	-	0,21	1,17	1,60
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h.a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,30	-	-	-
2. P ₅₀ K ₇₀	0,31		2,58	1,81
3. N ₃₀ P ₅₀ K ₇₀	-	0,54	3,60	1,77
4. N ₄₅ P ₅₀ K ₇₀	-	0,42	2,54	1,67
5. N ₆₀ P ₅₀ K ₇₀	-	0,44	2,28	1,64

Действие известкования за годы исследования не оказало значимого влияния на продуктивность культуры, но взаимодействие его с удобрениями было достоверно. На фоне известкования почвы по 0,5 г. к. получены наибольшие прибавки как от фосфорно-калийных туков – 0,44 т/га (контроль 3,77 т/га), так и от NPK – 0,62-1,04 т/га, меньше на фоне с известкованием по 1,0 г. к. соответственно 0,25 и 0,59-0,61 т/га (контроль 3,67 т/га). Наибольшая урожайность отмечена на фоне известкования по 0,5 г. к. в варианте N₉₀P₅₀K₈₀ – 4,81 т/га. Долевое участие минеральных удобрений в повышение урожайности на произвесткованных фонах составило от 10,4 до 21,6 % и от 6,4 до 14,8 % (соответственно фон по 0,5 и 1,0 г. к.).

В целом по опыту применение минеральных удобрений способствовало увеличению урожайности от 9 до 24 % (на 0,34-0,91 т/га)

по сравнению с вариантом без удобрений (3,73 т/га). От внесения удобрений в опыте дополнительно получено 0,68 т/га, прибавка от азота в составе полного минерального удобрения достигала 0,28-0,57 т/га.

Окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна на фоне без известкования составила – 4,28 кг, что на 0,13 кг больше чем на фоне с известкованием по 0,5 г. к. и на 1,39 кг зерна с известкованием по 1,0 г. к. (табл. 5). На первых двух фонах в вариантах с полным минеральным удобрением окупаемость увеличивалась по мере роста дозы азота – от 4,06 до 5,19 и 3,88 до 4,72 кг зерна соответственно. Величина этого показателя в варианте с РК-удобрениями на фоне известкования по 0,5 г. к. была больше на 0,69 и 1,46 кг зерна, чем на фоне без известкования и с известкованием по 1,0 г. к.

Таблица 2 – Влияние удобрений и известкования на урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 в зернопаротравяно-пропашном севообороте, т/га (среднее за 1996-1997 гг.) /
Table 2 – Effect of liming and fertilizers on the yield of winter wheat Mironovskaya 808 in grain-fallow-grass-row crop rotation, t/ha (average for 1996-1997)

без удобрений (контроль) / without fertilizers (control)	Вариант / Variant							
	PK		N ₁ PK		N ₂ PK		N ₃ PK	
	всего / total	прибавка к контролю / increase to control	всего / total	прибавка к контролю / increase to control	всего / total	прибавка к контролю / increase to control	всего / total	прибавка к контролю / increase to control
Без известкования (контроль) / Without liming (control)								
3,27	3,50	0,23	3,76	0,49	3,65	0,38	3,63	0,36
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h.a.								
3,45	3,70	0,25	3,70	0,25	3,86	0,41	3,66	0,21
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h.a.								
3,30	3,61	0,31	3,84	0,54	3,72	0,42	3,74	0,44
HCP ₀₅ ч.р. / LSD ₀₅ ch.r. = 0.13; HCP ₀₅ (изв.) / LSD ₀₅ (lim) = 0.24; HCP ₀₅ (удоб.) / LSD ₀₅ (fert.) = 0.08; HCP ₀₅ (изв. + удоб.) / LSD ₀₅ (lim + fert) = 0.08								

Таблица 4 – Влияние известкования и удобрений на урожайность озимой пшеницы Мироновская 808 в зернопаротравяно-пропашном севообороте, т/га (среднее за 2008-2009 гг.) /
Table 4 – Effect of liming and fertilizers on the yield of winter wheat Mironovskaya 808 in grain-grass-row crop rotation, t/ha (average for 2008-2009)

без удобрений (контроль) / without fertilizers (control)	Вариант / Variant							
	PK		N ₁ PK		N ₂ PK		N ₃ PK	
	всего / total	прибавка к контролю / increase to control	всего / total	прибавка к контролю / increase to control	всего / total	прибавка к контролю / increase to control	всего / total	прибавка к контролю / increase to control
Без известкования (контроль) / Without liming (control)								
3,72	4,07	0,35	4,37	0,65	4,69	0,97	4,86	1,14
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h.a.								
3,77	4,21	0,44	4,39	0,62	4,64	0,87	4,81	1,04
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h.a.								
3,67	3,92	0,25	4,28	0,61	4,27	0,60	4,26	0,59
HCP ₀₅ ч.р. / LSD ₀₅ ch.r. = 0.34; HCP ₀₅ (изв.) / LSD ₀₅ (lim) = 0.09; HCP ₀₅ (удоб.) / LSD ₀₅ (fert.) = 0.07; HCP ₀₅ (изв. + удоб.) / LSD ₀₅ (lim + fert) = 0.07								

Окупаемость 1 кг д. в. удобрений дополнительным доходом составила: фон без известкования – 2,10; известкование по 0,5 и 1,0 г. к. соответственно – 2,11 и 1,96 руб/руб. Варианты с различными дозами азота в составе полного удобрения различались незначительно как на фоне без известкования, так и по 0,5 г. к. (2,08-2,10 руб/руб. 2,07-2,09 руб/руб.). Исключение составил фон по 1,0 г. к., где разница

между $N_{30}P_{50}K_{80}$ (2,03 руб/руб.) и $N_{60}P_{50}K_{80}$ получена 0,12 руб/руб., между $N_{60}P_{50}K_{80}$ и $N_{90}P_{50}K_{80}$ – 0,07 руб/руб. в сторону уменьшения величины этого показателя.

Выращивание озимой пшеницы по многолетним травам без применения удобрений дает возможность получать урожай 3,72 т/га. Применение средств химизации увеличивает урожайность на 0,34-0,91 т/га, или на 9,4-24,7 %.

Таблица 5 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании озимой пшеницы Мироновская 808 в зависимости от изучаемых факторов (зернотравяно-пропашной севооборот, среднее за 2008-2009 гг.) /
Table 5 – Payback of mineral fertilizers while growing winter wheat Mironovskaya 808 depending on the studied factors (grain-grass-row crop rotation, average for 2008-2009)

Удобрения / Fertilizers	Продуктивность в контроле и прибавка, т/га / Productivity under control and increase, t/ha		Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers	
	от PK / from PK	от NPK / from NPK	дополнительным урожаем зерна, кг / by additional grain yield, kg	дополнительным доходом руб./руб. / by additional in- come, rub/rub
Без известкования (контроль) / Without liming (control)				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,72	-	-	-
2. $P_{50}K_{80}$	0,35	-	2,69	2,12
3. $N_{30}P_{50}K_{80}$	-	0,65	4,06	2,08
4. $N_{60}P_{50}K_{80}$	-	0,97	5,10	2,09
5. $N_{90}P_{50}K_{80}$	-	1,14	5,19	2,10
Известкование по 0,5 г. к. / Liming by 0.5 h.a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,77	-	-	-
2. $P_{50}K_{80}$	0,44	-	3,38	2,19
3. $N_{30}P_{50}K_{80}$	-	0,62	3,88	2,09
4. $N_{60}P_{50}K_{80}$	-	0,87	4,58	2,07
5. $N_{90}P_{50}K_{80}$	-	1,04	4,72	2,08
Известкование по 1,0 г. к. / Liming by 1.0 h.a.				
1. Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control)	3,67	-	-	-
2. $P_{50}K_{80}$	0,25	-	1,92	2,04
3. $N_{30}P_{50}K_{80}$	-	0,61	3,81	2,03
4. $N_{60}P_{50}K_{80}$	-	0,60	3,16	1,91
5. $N_{90}P_{50}K_{80}$	-	0,59	2,68	1,84

Заключение. Таким образом, на основании исследований установлено, что выращивание озимой пшеницы Мироновская 808 по чистому пару и после многолетних трав позволяет в естественных условиях поддерживать ее урожайность на уровне 3,27 и 3,72 т/га. Вне-сение минеральных удобрений увеличивает урожайность на 11 % – по чистому пару и 18 %

– по люцерне. С учетом окупаемости 1 кг д. в. минеральных удобрений дополнительным урожаем зерна и дополнительным доходом можно рекомендовать, кроме фосфорно-калий-ных, применение азотных удобрений в под-кормку в следующих дозах: в зернопаротравяно-пропашном севообороте – не более 30 кг д.в., в зернотравяно-пропашном – 30-60 кг д. в. на фоне известкования почвы по 0,5 г. к.

Список литературы

1. Шарипова Р. Б., Хакимов Р. А., Хакимова Н. В. Влияние предшественников и сроков сева на перезимовку и урожайность озимой пшеницы в изменяющихся условиях регионального климата. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020;15(2):66-71. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-66-71>
2. Федюшкин А. В., Пасько С. В., Парамонов А. В., Медведева В. И. Влияние систематического внесения удобрений и предшественников на урожай и качество зерна озимой пшеницы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(4(66)):65-68. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009120>
3. Поволоцкая Ю. С., Федюшкин А. В. Влияние минеральных удобрений на урожай и качество озимой пшеницы сорта Губернатор Дона, возделываемого по непаровым предшественникам. Бюллетень науки и практики. 2018;4(8):77-83. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1345166>
4. Мельник А. Ф., Кондрашкин Б. С., Митюшкин Н. И. Влияние предшественников на урожайность и качество зерна озимой пшеницы. Вестник ОрелГАУ. 2009;(4(19)):27-30. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12836553>
5. Парамонов А. В. Влияние систематического внесения удобрений и предшественников на урожайность озимой пшеницы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2014;(4(48)):43-45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22305075>
6. Пасько С. В., Федюшин А. В. Влияние уровня питания и предшественников на урожайность новых сортов озимой пшеницы. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018;(11-2):53-56. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2018-10192>
7. Тихонов Н. Н. Влияние предшественников на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Молодой ученый. 2016;(23(127)):192-196. Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/127/35241/>
8. Турусов В. И., Богатых О. А., Дронова Н. В., Балюнова Е. А., Сальников Р. В. Изменение водно-физических свойств почвы и урожайности озимой пшеницы в зависимости от предшественников. Земледелие. 2021;(2):10-13. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10202>
9. Целуйко О. А., Медведева В. М. Зависимость плодородия почв и продуктивности севооборотов от длительного применения удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(2):38-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25650653>
10. Логвинов И. В. Оценка эффективности предшественников озимой пшеницы, возделываемой в агротехнологиях разного уровня интенсивности в условиях юго-запада ЦЧЗ. Земледелие. 2016;(6):12-15.
11. Прокина Л. Н. Влияние минеральных удобрений и микроэлементов на фоне известкования почвы на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зернотравяном севообороте. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(3):13-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23200160>
12. Прокина Л. Н. Эффективность макро- и микроудобрений на озимой пшенице. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2012;(4(29)):39-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17846776>

References

1. Sharipova R. B., Khakimov R. A., Khakimova N. V. Influence of precursors and sowing date on overwintering and winter wheat productivity under changing regional conditions. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2020;15(2):66-71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2020-66-71>
2. Fedyushkin A. V., Pasko S. V., Paramonov A. V., Medvedeva V. I. Influence of predecessors and systematic fertilization on winter wheat yields and grain quality. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(4(66)):65-68. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30009120>
3. Povolotskaya Yu. S., Fedyushkin A. V. The effect of mineral fertilizers on the yield and quality of winter wheat varieties Gubernator Dona, cultivated by non-fallow predecessors. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2018;4(8):77-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1345166>
4. Melnik A. F., Kondrashkin B. S., Mityushkin N. I. Vliyanie predshestvennikov na urozhaynost' i kachestvo zerna ozimoy pshenitsy. *Vestnik OrelGAU* = Vestnik OrelGAU. 2009;(4(19)):27-30. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12836553>
5. Paramonov A. V. Effect of predecessors and regular application of fertilizers on winter wheat yields. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2014;(4(48)):43-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22305075>
6. Pasko S. V., Fedyushin A. V. The influence of level of nutrition and precursors on the yield of new winter wheat varieties. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2018;(11-2):53-56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2018-10192>

7. Tikhonov N. N. The influence of predecessors on the yield and grain quality of winter wheat in the conditions of the forest-steppe of the Middle Volga region. *Molodoy uchenyy* = Young Scientist. 2016;(23(127)):192-196. (In Russ.). URL: <https://moluch.ru/archive/127/35241/>

8. Turusov V. I., Bogatykh O. A., Dronova N. V., Balyunova E. A., Salnikov R. V. Change of water-physical soil properties and winter wheat yield depending on forecrops. *Zemledelie*. 2021;(2):10-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2021-10202>

9. Tseluyko O. A., Medvedeva V. M. Dependence of soil fertility and productivity of crop rotations on the long application of fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(2):38-40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25650653>

10. Logvinov I. V. Evaluation of efficacy of forecrop of winter wheat, cultivated according to agrotechnologies of different intensity level under conditions of the southwest of the central chernozem zone. *Zemledelie*. 2016;(6):12-15. (In Russ.).

11. Prokina L. N. Influence of mineral fertilizers and microelements on productivity and grain quality of winter wheat in gram-grass crop rotation against the background of liming. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2015;29(3):13-15. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23200160>

12. Prokina L. N. Efficiency of macro and microfertilizers on a winter wheat. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2012;(4(29)):39-41. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17846776>

Сведения об авторах

✉ **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>

Пугов Сергей Васильевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории 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/0000-0001-8421-2913>

Information about the authors

✉ **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, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Sergey V. Pugaev, PhD in Biology, senior researcher, 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, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации

© 2022. О. В. Левакова ✉

Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Рязанская область, Российская Федерация

Цель исследований – выявить основные элементы структуры урожая, влияющие на продуктивность ярового ячменя в различные по метеоусловиям годы в условиях Рязанской области. Полевые исследования проводили в питомнике конкурсного сортоиспытания в 2017-2021 гг. на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве. В качестве объекта исследований использовали лучшие районированные двурядные сорта ярового ячменя (Яромир, Надежный, Знатный, Рафаэль, Любояр) и 4 перспективных линии. Установлено, что между элементами структуры урожая ячменя ярового существует взаимосвязь: формирование одного из элементов может компенсироваться более значительным развитием другого. В условиях жесткой засухи ($ГТК = 0,58-0,70$) выявили наибольшую положительную корреляционную связь урожайности с длиной колоса ($r = +0,437$) и количеством зерен в колосе ($r = +0,279$). В засушливых условиях ($ГТК = 0,75-0,85$) наибольшее влияние на урожайность оказали количество растений перед уборкой ($r = +0,335$) и количество продуктивных стеблей ($r = +0,437$). В увлажненный год ($ГТК = 1,36$) на продуктивность ячменя существенно повлиял комплекс показателей структурных элементов: высота растений ($r = +0,890$), вес зерна с колоса ($r = +0,810$), количество зерен в колосе ($r = +0,806$), длина колоса ($r = +0,774$) и масса 1000 зерен ($r = +0,640$). При анализе элементов структуры урожая установлена существенная зависимость ($r = +0,674$) между длиной колоса и количеством зерен в нем. Установлена отрицательная корреляция между продуктивной кустистостью растений и массой 1000 зерен, количеством продуктивных стеблей и массой зерна с колоса. Установлено, что к слабоварьетирующим признакам относятся количество зерен в колосе ($C_v = 4,8\%$) и длина колоса ($C_v = 9,6\%$). Выявлено, что урожайность исследуемых сортов и перспективных линий имеет низкое варьирование по годам $C_v = 8,8\%$, что указывает на эффективность селекционной работы по созданию сортов ячменя с высокой и стабильной урожайностью.

Ключевые слова: ячмень (*Hordeum vulgare* L.), сорт, линия, продуктивность, структура урожая, гидротермические условия, корреляционная взаимосвязь

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № 0581-2019-0021).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Левакова О. В. Вариабельность элементов структуры урожая ярового ячменя в зависимости от гидротермических условий вегетации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):327-333.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333>

Поступила: 11.01.2022

Принята к публикации: 26.04.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Variability of the elements of spring barley yield structure depending on the hydrothermal conditions of vegetation

© 2022. Olga V. Levakova ✉

Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Ryazan region, Russian Federation

The purpose of the research is to identify the main elements of the crop structure that affect the productivity of spring barley in different weather conditions in the Ryazan region. Field studies were carried out in the nursery of the competitive variety trial in 2017-2021 on dark gray forest heavy loam soil. The best zoned double-row varieties of spring barley (Yaromir, Nadezhny, Znatny, Raphael, Lyuboyar) and 4 promising lines were used as the object of research. It has been established that there is a relationship between the elements of the structure of the spring barley yield: the formation of one of the elements can be compensated by a more significant development of the other. In conditions of severe drought ($HTC = 0.58-0.70$), the greatest positive correlation of yield with the length of the ear ($r = +0.437$) and the number of grains in the ear ($r = +0.279$) was revealed. In arid conditions ($HTC = 0.75-0.85$), the number of plants before harvesting ($r = +0.335$) and the number of productive stems ($r = +0.437$) had the greatest impact on the yield. During the moist year ($HTC = 1.36$), the productivity of barley was significantly affected by a set of indicators of structural elements: plant height ($r = +0.890$), grain weight from the ear ($r = +0.810$), the number of grains in the ear ($r = +0.806$), ear length ($r = +0.774$) and the mass of 1000 grains ($r = +0.640$). When analyzing the elements of the crop structure, a significant dependence ($r = +0.674$) was established between the length of the ear and the number of grains in it. A negative correlation has been established between the productive bushiness of plants and the mass of 1000 grains, between the number of productive stems and the mass of grain from the ear. It has been found out that

the slightly varying traits include the number of grains in the ear ($C_v = 4.8\%$) and the length of the ear ($C_v = 9.6\%$). It has been revealed that the yield of the studied varieties and promising lines has a low variation over the years of $C_v = 8.8\%$, which indicates to the effectiveness of breeding work on developing barley varieties with high and stable yields.

Keywords: barley (*Hordeum vulgare* L.), variety, line, productivity, yield structure, hydrothermal conditions, correlation relationship

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. 0581-2019-0021).

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

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

For citations: Levakova O. V. Variability of the elements of spring barley yield structure depending on the hydrothermal conditions of vegetation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):327-333. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.327-333>

Received: 11.01.2022

Accepted for publication: 26.04.2022

Published online: 23.06.2022

Ячмень – одна из самых важных зерновых культур. Ежегодно занимаемые ячменем площади посевов в мире составляют около 50,0 млн га, а валовые сборы составляют более 145,0 млн т. Россия по валовому сбору ячменя стабильно занимает второе место после стран ЕС, обеспечивая 11-15 % мирового производства [1].

За последние три десятилетия отмечается нестабильность валовых сборов и урожайности практически всех сельскохозяйственных культур [2]. На данную закономерность, по обобщению результатов многолетних исследований, существенное влияние оказывают погодные условия [3, 4]. Для стабильности производства зерна и эффективности агротехнических приемов важно учитывать особенности метеорологических условий каждой природной зоны, причем погоде необходимо уделять не меньшее внимание, чем плодородию почвы [5, 6]. Изменение климата, появление более адаптированных к конкретным климатическим условиям возделывания сортов, новых технологий ставит задачу более детального изучения элементов урожайности в зависимости от постоянно меняющихся погодных условий вегетационных периодов [7, 8, 9].

Установление причинно-следственных связей между гидротермическими условиями среды и продуктивностью зерновых культур – одно из важнейших условий повышения эффективности агротехнологических приемов. При формировании высокопродуктивных растений зерновых культур, в т. ч. и ячменя, важно обеспечить оптимальные значения основных элементов структуры урожая [10, 11]. Использование структурных элементов продуктивности требует тщательного анализа

их информативности на фоне разных лимитирующих факторов внешней среды в конкретных почвенно-климатических условиях, так как элементы продуктивности имеют различную вариабельность в зависимости от взаимодействия факторов генотип-среда [12, 13]. Полученные результаты могут помочь в прогнозировании величины будущего урожая зерна на основании метеорологических данных и степени развития урожайобразующих признаков [14].

Корреляционные связи элементов структуры урожая направляют внимание селекционеров на поиск взаимодействия между признаками, а установленные, постоянно проявляющиеся эмпирические корреляции создают реальную базу для прогноза, упрощают отбор и удешевляют селекционный процесс¹.

Цель исследований – выявить основные элементы структуры урожая, влияющие на продуктивность ярового ячменя в различные по метеоусловиям годы в условиях Рязанской области.

Новизна исследований заключается в получении данных о влиянии гидротермических условий региона на вариабельность количественных признаков лучших сортов и перспективных линий ячменя ярового и установление их взаимосвязей с урожайностью для дальнейшей целенаправленной селекционной работы.

Материал и методы. Полевые исследования проводили в питомнике конкурсного сортоиспытания в 2017-2021 гг. на селекционных полях Института семеноводства и агротехнологий (филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Рязанская обл.).

Почва опытного участка темно-серая лесная тяжелосуглинистая. Агрохимические показатели: $pH_{\text{сол}}$ (ГОСТ 26483-85) – 4,88 ед.;

¹Боровиков В. П., Ивченко Г. И. Прогнозирование в системе Statistica в среде Windows (основы теории и интенсивная практика на компьютере): учеб. пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности «Прикладная математика». Изд-ние 2-е, перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2006. 382 с.

содержание органического вещества (ГОСТ 26213-91) – 5,60 %, подвижного фосфора (ГОСТ Р 54650-2011) – 378,0 мг/кг почвы, подвижного калия (ГОСТ Р 54650-2011) – 275,0 мг/кг почвы, азота нитратного (ГОСТ 26951-86) – 41,4 мг/кг, азота аммонийного (ГОСТ 26489-85) – 4,43 мг/кг, обменного магния (ГОСТ 26487-85) – 2,16 ммоль/100 г.

В качестве объекта исследований использовали лучшие районированные двурядные сорта ячменя ярового (Яромир, Надежный, Знатный, Рафаэль, Любояр) и 4 перспективных линии, имеющие стабильно высокую урожайность по годам исследований.

Учетная площадь делянки 10 м², норма высева 5,0 млн всхожих семян на 1 га. Повторность четырехкратная. Агротехника – общепринятая для данной культуры. Анализ структуры урожая, статистическая обработка экспериментальных данных методами дисперсионного, корреляционного и вариационного анализов проведены с использованием соответствующих для данных исследований методик².

Для оценки складывающихся гидротермических условий использовали данные по количеству осадков и температуре, полученные на метеостанции ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Гидротермические условия 2017-2021 гг. существенно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков, варьирующих в течение вегетационных периодов. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г. Т. Селянину³. Очень засушливыми условиями характеризовались 2018-2019 гг. (ГТК = 0,58-0,70); засушливыми – 2017, 2021 гг. (ГТК = 0,75-0,85); увлажненным 2020 г. (ГТК = 1,36).

Результаты и их обсуждение. Основной признак ценности сорта – урожайность. Результаты исследований ячменя ярового в конкурсном сортоиспытании в 2017-2021 гг. показали, что урожайность сортов и линий может существенно изменяться в зависимости от погодных условий. Средняя урожайность выделенных для исследования номеров составила 6,13 т/га (табл.).

Условия вегетации за анализируемый период исследований были резко контрастными. Снижение урожайности на 10,6 % проявилось в 2020 году (5,54 т/га), что объясняется неблагоприятным периодом 1 декады июня (ГТК = 3,9) за счет выпавших в большом количестве осадков, которые спровоцировали раннее прикорневое полегание растений еще до наступления фазы колошения.

Наиболее высокая урожайность сформировалась в 2019 году (6,48 т/га), хотя вегетационный период характеризовался неблагоприятными условиями для развития испытываемой культуры. Летняя засуха проявлялась в I и II декадах июня, ГТК составил 0 и 0,14 соответственно, а среднемесячная температура воздуха в это время была на 3,2-6,0 °C выше среднемноголетних значений. Но период кущения (II-III декады мая), когда в растениях ячменя идет процесс закладки генеративных органов и он сильно реагирует на температурные условия и степень увлажнения почвы, выдался благоприятным (среднесуточная температура составила 19,6 °C, а количество осадков выпало на 59,2 % больше среднемноголетних значений – 41,4 мм, ГТК – 2,1).

Таким образом, колебания средней урожайности ячменя ярового обусловлены в большей степени погодными условиями. В связи с этим, наибольший интерес представляет выявление причин снижения или увеличения урожайности, связанной, большей частью, с изменением структурных элементов продуктивности. Корреляционный анализ выявил отрицательную зависимость между урожайностью сортов/линий и значениями гидротермического коэффициента за весь исследуемый период ($r = -0,564$), но значимую ($r = +0,462$) за месяц май (фаза кущения), имеющий решающее значение в формировании количества стеблей на растении.

Установление взаимосвязей между признаками и урожайностью усложняется неустойчивостью метеорологических элементов в течение вегетационного периода и по годам. В зависимости от условий вегетации продуктивность и урожайность определяет то один, то другой признак или свойство сорта.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.; Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур под ред. В. И. Головачева, Е. В. Кириловской. М., 2019. 194 с.

³Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;(20):165-177.

Таблица – Элементы продуктивности ячменя ярового по годам и их корреляционная связь с урожайностью и метеословиями вегетационных периодов, 2017-2021 гг. (n = 9) /
Table – Elements of productivity of spring barley by years and their correlation with productivity and weather conditions of the growing seasons, 2017-2021 (n = 9)

Показатель / Indicator	Количество, шт./м² / Number, pcs/m²		Высота, см / Height, cm	Длина колоса, см / Ear length, cm	Кол-во зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.	Масса зерна с колоса, г / Weight of grain per ear, g	Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	Продуктивная кустистость / Productive bushiness	Урожайность т/га / Productivity, t/ha
	растений перед уборкой / of plants before harvesting	продуктивных стеблей / of productive stems							
2017 год									
Среднее / Average	325,9	758,7	96,2	6,63	21,6	1,13	49,0	2,32	5,99
Cv, %	7,7	13,2	7,0	6,26	5,45	5,98	6,4	10,2	10,7
Корреляция с урожайностью / Correlation with yield	+0,575*	+0,338*	-0,678	-0,691*	-0,009	-0,547	-0,692*	+0,005	-
2018 год									
Среднее / Average	352,2	722,4	77,1	7,12	22,4	1,18	52,6	2,05	6,13
Cv, %	8,7	13,7	10,8	7,9	7,3	8,9	6,7	11,2	8,9
Корреляция с урожайностью / Correlation with yield	+0,612*	+0,443*	+0,261	+0,230	+0,278*	-0,251	-0,638*	+0,121	-
2019 год									
Среднее / Average	295,1	682,7	73,0	8,03	22,9	1,25	50,3	2,32	6,48
Cv, %	8,6	14,9	15,6	9,0	8,5	11,1	5,54	17,8	4,0
Корреляция с урожайностью / Correlation with yield	-0,265	-0,413	-0,423	+0,643*	+0,280*	+0,107	-0,033	-0,199	-
2020 год									
Среднее / Average	286,2	1143,1	91,9	7,44	22,1	1,05	40,8	4,07	5,54
Cv, %	15,5	9,5	7,2	12,0	9,9	18,1	9,2	16,5	6,8
Корреляция с урожайностью / Correlation with yield	-0,085	-0,468*	+0,890*	+0,778*	+0,806*	+0,810*	+0,640*	-0,257	-
2021 год									
Среднее / Average	299,6	831,6	78,8	8,03	22,1	1,05	41,6	2,78	6,45
Cv, %	6,4	17,1	5,7	7,7	5,6	8,2	5,7	16,8	8,14
Корреляция с урожайностью / Correlation with yield	+0,095	+0,535*	-0,005	-0,256	-0,212	-0,696*	-0,627*	+0,582*	-
Среднее / Average									
Среднее / Average	311,8	825,2	82,7	7,50	22,2	1,13	46,9	2,70	6,13
Cv, %	11,6	24,5	13,9	9,6	4,8	11,3	12,4	31,4	8,8
Корреляция с Σэф.т / Correlation with Σ eff.t	-0,134	+0,158	-0,516*	+0,600*	+0,129	-0,286	-0,474*	+0,186	+0,187
Корреляция с Σ осадков. / Correlation with Σ precipitation	-0,446	+0,904*	+0,522*	-0,031	-0,185	-0,497*	-0,723	+0,924*	-0,723
Корреляция с ГТК / Correlation with НТС	-0,388	+0,851*	+0,652*	-0,198	-0,218	-0,420	-0,586*	+0,858*	-0,564
Корреляция с урожайностью / Correlation with yield	+0,025	-0,496	-0,498	+0,450*	+0,357*	+0,336*	+0,229	-0,465	-

* – Доверительная вероятность $P \geq 0,95$ / Confidence probability $P \geq 0,95$

Густота продуктивного стеблестоя во все годы исследований в сортовом разрезе изменялась в средней степени ($C_v = 9,2-17,1 \%$). Количество продуктивных стеблей на 1 м^2 , в зависимости от сложившихся условий вегетации, варьировало от 682,7 (2019 г.) до 1143,1 (2020 г.). Данный показатель повлиял на увеличение урожайности только в засушливые годы ($r = +0,437$). В 2020 г. (увлажненном) отмечено обратное значимое влияние на урожайность ($r = -0,468$).

Продуктивная кустистость ячменя ярового зависит от факторов внешней среды и варьировала по годам от 2,05 до 4,07. Во влажном 2020 году сложились благоприятные условия для данного показателя – 4,07, что превышает значение в остальные годы в среднем на 72,5 %. Установлена существенная зависимость количества продуктивных стеблей от сумм атмосферных осадков ($r = +0,924$) и значений ГТК ($r = +0,858$). Данная тенденция сохраняется по всем исследуемым номерам независимо от агроклиматических условий года.

Продуктивные возможности генотипов могут быть реализованы в дальнейшем при благоприятных условиях в период налива зерна. Так, при малом значении данных показателей в 2019 году (682,7 продуктивных стебля на 1 м^2 и 295,1 растений перед уборкой на 1 м^2) получена максимальная урожайность – 6,48 т/га. Но при этом длина колоса и масса зерна с колоса составили 8,03 см и 1,25 г, что на 0,73 см и 0,15 г больше, чем в другие годы исследований. Выявлено небольшое увеличение количества зерен в колосе на 0,86 шт. Видимо, данные элементы структуры компенсировали снижение количества продуктивных стеблей, повысив урожай культуры.

Отмечена отрицательная сопряженность между количеством продуктивных стеблей и массой зерна с колоса ($r = -0,758$).

Установлено, что амплитуда изменчивости по длине колоса у изучаемых образцов в зависимости от условий вегетационного периода была незначительной ($C_v = 9,6 \%$). Так, показатель «длина колоса» за годы изучения составил в среднем 7,50 см.

Число зерен в колосе имеет важное значение при отборе на продуктивность и является предпосылкой высокого урожая. Озерненность и продуктивность колоса имеют высокую степень связи друг с другом ($r = +0,684$).

В условиях жесткой засухи (2018-2019 гг., ГТК = 0,58-0,70) корреляционный анализ

выявил положительную связь урожайности с генетически заложенными показателями – «длина колоса» ($r = +0,437$) и «количество зерен в колосе» ($r = +0,279$), в условиях достаточного увлажнения (2020 г., ГТК = 1,36) выявлены уже более существенные связи с показателями «длина колоса» ($r = +0,778$) и «количество зерен в колосе» ($r = +0,806$). В среднем по годам исследований эти два показателя оказали положительное влияние на урожайность ячменя ярового ($r = +0,450$ и $r = +0,357$ соответственно).

Масса 1000 зерен за годы наших исследований характеризовалась высокими значениями – в среднем 46,9 г. Установлено, что в годы с выпадением большого количества осадков «масса зерна с колоса» и «масса 1000 зерен» ячменя уменьшалась вследствие полегания растений. Так, масса зерна с колоса снизилась на 0,17 г, а масса 1000 зерен на 10,7 г относительно средних показателей в условиях жесткой засухи. Максимальная масса 1000 зерен получена в очень сухом 2018 году – 52,6 г. В этот год сформировался минимальный коэффициент продуктивной кустистости – 2,05. Получена значимая отрицательная зависимость коэффициента продуктивной кустистости и массы 1000 зерен ($r = -0,827$).

По длине соломины изучаемые образцы относились к средненизким (71-80 см) и среднерослым (81-95 см) растениям. Проведенные нами исследования показали, что образцы ячменя при средней высоте растений от 71 до 87 см показали хорошую устойчивость к полеганию – от 4,5 до 5,0 баллов. В наших опытах найдена средняя отрицательная связь ($r = -0,498$) между тестируемым признаком и урожайностью.

Для оценки степени вариабельности (нестабильности) количественных признаков использовали коэффициент вариации (C_v , %). Установлено, что к слабоварьирующим признакам относятся «количество зерен в колосе» ($C_v = 4,8 \%$) и «длина колоса» ($C_v = 9,6 \%$). Выявлено, что урожайность исследуемых сортов и перспективных линий имеет низкое варьирование по годам $C_v = 8,8 \%$.

Заключение. Низкая величина варьирования урожайности районированных сортов и перспективных линий ярового ячменя в условиях Рязанской области свидетельствует об эффективности селекционной работы по созданию сортов с высокой и стабильной урожайностью.

Исследования показали, что рост урожайности ярового ячменя связан с увеличением показателей «длина колоса», «количество зерен в колосе» и «масса зерна с колоса».

Между элементами структуры урожая ячменя ярового существует взаимосвязь: недостаточное формирование одного из элементов может компенсироваться более значительным развитием другого. Установлена существенная зависимость ($r = +0,674$) между длиной колоса

и количеством зерен в нем. Отрицательная корреляция наблюдалась между продуктивной кустистостью растений и массой 1000 зерен, количеством продуктивных стеблей и массой зерна с колоса.

Выявлено существенное влияние суммы эффективных температур на длину колоса ($r = +0,600$), суммы осадков и ГТК на количество продуктивных стеблей ($r = +0,904$ и $r = +0,851$ соответственно) и высоту растений ($r = +0,522$ и $r = +0,652$ соответственно).

Список литературы

1. Филенко Г. А., Фирсова Т. И., Скворцова Ю. Г., Филиппов Е. Г. Динамика посевных площадей и урожайности ярового ячменя в РФ. Зерновое хозяйство России. 2017;(5(53)):20-25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32257648>
2. Усатов А. В., Устенко А. А., Горбаченко О. Ф., Денисенко Ю. В. Влияние климатических факторов на изменчивость хозяйственно ценных признаков подсолнечника в Приазовской зоне Ростовской области. Современные проблемы науки и образования. 2021;(1):207. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17688832>
3. Федюшкин А. В., Парамонов А. В., Медведева В. И. Влияние систематического внесения удобрений на урожайность и качество ярового ячменя. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(4(72)):81-84. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35553571>
4. Филенко Г. А., Васильченко С. А., Донцов Д. П. Продуктивность сорта ярового ячменя Леон в зависимости от метеоусловий в южной зоне Ростовской области. Зерновое хозяйство России. 2017;(1(49)):43-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28825295>
5. Hulsbergen K. J., Feil B., Diepenbrock W. Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. Field Crops Research. 2002;77(1):61-76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=1087207>
6. Kosolapova A., Yamaltdinova V., Mitrofanova E., Fomin D., Teterlev I. Yields of field crops and sod-podzolic soil fertility of West Ural depending on fertilizer system. Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2016;22(3):381-385. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26855784>
7. Левакова О. В. Отзывчивость нового сорта ярового ячменя Знатный на норму высева в условиях Рязанской области. Аграрная наука. 2021;(3):70-73. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45729132>
8. Левакова О. В. Селекционная работа по созданию адаптированных к Нечерноземной зоне РФ сортов ярового ячменя и перспективы развития данной культуры в Рязанской области. Зерновое хозяйство России. 2021;(1(73)):14-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44744368>
9. Семинченко Е. В. Влияние погодных условий на урожайность ярового ячменя в зоне влияния лесной полосы. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021;13(2):114-127. DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127>
10. Неттевич Э. Д., Смолин В. П., Макаров В. П. Особенности формирования урожайности различными сортотипами ярового ячменя в условиях Нечерноземного центра России. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 1995;(1):3-5.
11. Левакова О. В., Банникова М. И. Скрининг перспективных сортообразцов озимой мягкой пшеницы по элементам структуры урожайности и ее стабильности в условиях Центра Нечерноземья. Вестник АПК Верхневолжья. 2019;(1):35-39. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37206431>
12. Мальчиков П. Н., Сидоренко В. С., Мясникова М. Г., Наумкин Д. В. Оценка в эколого-географическом эксперименте адаптивности генотипов твердой пшеницы и дифференцирующей способности условий среды (годы, пункты). Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(2):120-126. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26280840>
13. Батакова О. Б., Корелина В. А. Влияние элементов структуры урожая на продуктивность ячменя ярового (*Horbeum vulgare* L.) в условиях Крайнего Севера РФ. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2017;178(3):50-58. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-3-50-58>
14. Щенникова И. Н. Влияние погодных условий на рост и развитие растений ячменя в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;(4(41)):9-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>

References

1. Filenko G. A., Firsova T. I., Skvortsova Yu. G., Filippov E. G. The dynamics of sowing areas and productivity of spring barley in the Russian Federation. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017;(5(53)):20-25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32257648>

2. Usatov A. V., Ustenko A. A., Gorbachenko O. F., Denisenko Yu. V. The influence of climatic factors on the variability of sunflower agronomic characters in Azov of Rostov region. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* = Modern problems of science and education. 2021;(1):207. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17688832>
3. Fedyushkin A. V., Paramonov A. V., Medvedeva V. I. Effect of systematic application of fertilizers on the yields and quality of spring barley grain. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(4(72)):81-84. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35553571>
4. Filenko G. A., Vasilchenko S. A., Dontsov D. P. Productivity of the spring barley variety 'Leon' in dependence of weather conditions of the southern part of the Rostov region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2017;(1(49)):43-49. (In Russ.) URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28825295>
5. Hulsbergen K. J., Feil B., Diepenbrock W. Rates of nitrogen application required to achieve maximum energy efficiency for various crops: results of a long-term experiment. *Field Crops Research*. 2002;77(1):61-76. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=1087207>
6. Kosolapova A., Yamaltdinova V., Mitrofanova E., Fomin D., Teterlev I. Yields of field crops and sod-podzolic soil fertility of West Ural depending on fertilizer system. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2016;22(3):381-385. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26855784>
7. Levakova O. V. Responsiveness of a new variety of spring barley notable to the seeding rate in the Ryazan region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(3):70-73. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=45729132>
8. Levakova O. V. The breeding work on development of the spring barley varieties adapted to the non-blackearth region of the Russian Federation and the prospects for growing of the variety in the Ryazan region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(1(73)):14-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44744368>
9. Seminchenko E. V. Influence of weather conditions on the yield of spring barley in the forest belt area. *Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture*. 2021;13(2):114-127. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127>
10. Nettevich E. D., Smolin V. P., Makarov V. P. Features of the formation of yields by different cultivars of spring barley in the conditions of the Non-Black Earth Center of Russia. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 1995;(1):3-5. (In Russ.).
11. Levakova O. V., Bannikova M. I. Screen of promising varieties of soft winter wheat by elements of the yield structure and its stability under the conditions of the center of the Non-black earth region. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2019;(1(45)):35-39. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37206431>
12. Malchikov P. N., Sidorenko V. S., Myasnikova M. G., Naumkin D. V. Evaluation of ecological and geographic adaptability experiment genotypes of durum wheat and differentiating ability of environmental conditions (years, points). *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2016;(2):120-126. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26280840>
13. Batakova O. B., Korelina V. A. The effect of yield structure elements on spring barley (*hordeum vulgare* L.) productivity in the environments of Russia's extreme north. *Proceedings on applied botany, genetics and breeding*. 2017;178(3):50-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2017-3-50-58>
14. Shchennikova I. N. Influence of weather conditions on growth and development of barley plants in Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2014;(4(41)):9-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699652>

Сведения об авторе

✉ **Левакова Ольга Викторовна**, кандидат с.-х. наук, зав. отделом селекции и первичного семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, 1, с. Подвыазье, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>, e-mail: levakova.olga@bk.ru

Information about the author

✉ **Olga V. Levakova**, PhD in Agricultural Science, Head of the Department of Breeding and Primary Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies - branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Parkovaya str., 1, Podvyazye village, Ryazan district, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5400-669X>, e-mail: levakova.olga@bk.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>
УДК 633.282: 631.559: 631.524.022



Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий

© 2022. Н. А. Ковтунова✉, В. В. Ковтунов, А. Е. Романюкин, Г. М. Ермолина
ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Ростовская область,
Российская Федерация

Урожайность любой культуры – это потенциальные возможности сорта при взаимодействии с факторами внешней среды, и особенно метеорологическими. Потери из-за неблагоприятных условий в отдельные годы могут составлять до 50-65 %. Цель работы – определить, как изменяется урожайность зеленой массы суданской травы в различные по метеорологическим условиям годы, какие факторы оказывают наибольшее на нее влияние. Исследования проводили в 2012-2021 гг. в условиях Ростовской области. Почвенный покров участка – обыкновенный карбонатный чернозем. Объект исследований – сорт суданской травы Алиса, внесенный в Государственный реестр селекционных достижений в 2019 году. Различия в сроках посева (I-II декады мая) не сказались на урожайности зеленой массы и сроках созревания зерна. Урожайность зеленой массы суданской травы значительно варьировала по годам – 36-43 т/га. Более благоприятным как по температурному режиму, так и влагообеспеченности для формирования первого укоса зеленой массы сложился 2021 год, 2018 год – для формирования 2 укоса. Наиболее важным и продуктивным является первый укос зеленой массы. Урожайность во 2 укосе в 2018 году составила 84,5 % от первого укоса и 45,8 % – от суммы за 2 укоса. В 2021 году – 35,0 % от первого и 26,5 % от общего урожая. Корреляционный анализ подтвердил, что урожайность зеленой массы имеет тесную положительную связь с количеством осадков ($r = 0,79$) и среднюю отрицательную – со средней температурой воздуха за вегетацию ($r = -0,59$).

Ключевые слова: суданская трава, зеленая масса, сорт, температура воздуха, осадки, укос, корреляция

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «АНЦ «Донской» (тема № 0505-2022-0003).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М. Урожайность сорго травянистого в зависимости от метеорологических условий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):334-342.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>

Поступила: 25.03.2022

Принята к публикации: 26.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Sudan grass productivity depending on meteorological conditions

© 2022. Natalia A. Kovtunova✉, Vladimir V. Kovtunov,
Aleksander E. Romanyukin, Galina M. Ermolina

Agricultural Research Center «Donskoy», Zernograd, Rostov region, Russian Federation

Productivity of any crop is the potential of the variety when interacting with environmental factors, and especially meteorological ones. Losses due to unfavorable conditions in some years can be up to 50-65,0 %. The purpose of the work was to identify how the productivity of Sudan grass green mass varied through the years with different meteorological conditions, which factors had the greatest effect on it. The study was carried out in 2012-2021 in the conditions of Rostov region. The soil of the plot was ordinary carbonate chernozem. The object of the study was the Sudan grass of Alisa variety, introduced into the State List of Breeding Achievements in 2019. Differences in sowing dates (I-II decades of May) had no effect on green mass productivity and the time of grain maturing. The Sudan grass green mass productivity varied significantly from 36 t/ha to 43 t/ha through the years of study. The year of 2021 was more favorable both in temperature and moisture supply for the formation of the first cut of green mass, and the year of 2018 was favorable for the formation of the second one. The first cut of the green mass was more important and productive. The second cut productivity in 2018 was 84.5 % of the first cut and 45.8 % of the amount of both cuts. In 2021, 35,0 % of the first cut and 26.5 % of the total productivity. The correlation analysis has confirmed that green mass productivity has a close positive correlation with the amount of precipitation ($r = 0.79$) and a mean negative one with the average air temperature during the vegetation period ($r = -0.59$).

Keywords: Sudan grass, green mass, variety, air temperature, meteorological conditions, precipitation, cut, correlation

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Agricultural Research Center «Donskoy» (theme No. 0505-2022-0003).

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

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

For citation: Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Ermolina G. M. Grass sorghum productivity depending on meteorological conditions. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):334-342. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.334-342>

Received: 25.03.2022

Accepted for publication: 26.05.2022

Published online: 23.06.2022

Для повышения продовольственной безопасности страны необходимо обеспечение животноводства стабильными по культурам, сбалансированными по питательности кормами с низкой себестоимостью. Сорго травянистое (суданская трава и сорго-суданковые гибриды) отвечает этим требованиям. Суданская трава (*Sorghum sudanense* (Riper) stapf) отличается уникальной для кормовых культур засухоустойчивостью, жаростойкостью, солевыносливостью и неприхотливостью к почвам, является важным компонентом зеленого конвейера [1, 2, 3]. Культуру возделывают, в основном, в засушливых и полувасушливых регионах по всему миру, где другие культуры не могут реализовать свою потенциальную урожайность [4, 5]. Засухоустойчивость суданской травы обусловлена как хорошо развитой корневой системой, наличием воскового налета на листьях и стеблях, строением устьичного аппарата и эпидермиса, так и способностью растений впадать в анабиоз до наступления более благоприятных условий [5, 6, 7]. При высокой засухоустойчивости суданская трава очень отзывчива на поливы и удобрения, в этих случаях повышение урожайности достигает 50-70 % [6, 8, 9]. Главным достоинством сорго травянистого является высокая интенсивность послеуборочного отрастания, что позволяет получать 2-3 раза за сезон высокую урожайность зеленой массы и сена. Особенно это ценно в конце лета, когда большинство кормовых культур высохло или убрано. Еще одно отличие суданской травы от других кормовых культур – при высоких урожаях зеленой массы получать сено, которое по содержанию белка стоит на первом месте среди злаковых трав, уступая только бобовым. В 100 кг зеленой массы суданской травы содержится 16-20 корм. ед., 28-32 г переваримого протеина, переваримость составляет 69-71 %, в 10 кг сена – 50-55 корм. ед., 60-120 г переваримого протеина, переваримость – 65 % [10, 11]. Большой потенциал урожайности биомассы, устойчивость к засухе, жаре, кислым почвам и почвам с низким плодородием, устойчивость к болезням, способность конкурировать с сорняками позволяют рассматривать сорго травянистое как важную кормовую культуру [12].

Большое разнообразие климатических и почвенных условий России диктует необходимость поиска культур и сортов для конкретной зоны, так как потенциальная урожайность любой культуры напрямую зависит от влияния

факторов внешней среды, и особенно метеорологических, потери от которых в отдельные годы составляют до 50-65 % и более [10, 13]. Один и тот же сорт в различных условиях возделывания имеет разную высоту растений, кустистость, облиственность, [14, 15, 16, 17], поэтому изучение влияния метеорологических условий на рост, развитие, урожайность и качество является актуальной задачей селекционера.

Цель работы – определить, как изменяется урожайность зеленой массы суданской травы в различные по метеорологическим условиям годы, какие факторы оказывают наибольшее на нее влияние.

Научная новизна – изучено влияние основных метеорологических условий за последние 10 лет на урожайность зеленой массы нового сорта суданской травы Алиса в условиях Ростовской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2012-2021 гг. на полях Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Аграрный научный центр «Донской» (г. Зерноград, Ростовская область). Почвы представлены обыкновенным карбонатным черноземом с содержанием гумуса в пахотном слое 3,6 %.

В качестве объекта исследований использовали сорт суданской травы Алиса. Сорт выведен методом многократного самоопыления отбором наиболее продуктивных растений из гибридной популяции, полученной от скрещивания образцов суданской травы К-460 Изумрудная и Многоукосная 102, внесен в Государственный реестр селекционных достижений в 2019 году (изучение в конкурсном сортоиспытании – с 2012 года). Растения высокорослые (200-220 см), хорошо облиственные (30-35 %), сухо- и тонкостебельные, кустистые, особенно во втором укосе (3-5 стеблей). Сорт отличается повышенной интенсивностью начального роста и послеуборочного отрастания, высокой устойчивостью к поражению всеми видами голови, слабо поражается бактериозом, устойчив к повреждению тлей. Используется на зеленый корм, сено, выпас. Кормовые качества зеленой массы хорошие: содержание сырого протеина в сухом веществе – 10,3 %, клетчатки – 39,6 %, безазотистых экстрактивных веществ – 42,3 %.

Предметом исследований являлись урожайность зеленой массы суданской травы в сумме, по укосам и основные метеорологические показатели – температура воздуха и количество осадков.

Закладка опыта, наблюдения и учёты осуществлялись в конкурсном испытании согласно Методике государственного сортоиспытания¹. Посев суданской травы проводили в оптимальные сроки – I-II декады мая сеялкой СН-16 рядовым способом посева (ширина междурядья 15 см). Норма высева – 1,6 млн всхожих семян на 1 га. Учетная площадь делянок 25 м², повторность 4-кратная. Расположение делянок в опытах систематическое. Подготовка почвы и уходные работы проводили в соответствии с технологией возделывания суданской травы на семена [18]. Уборку зеленой массы проводили дважды (2 укоса) в фазу «начало выметывания», высота среза – 5-6 см.

Статистическую обработку полученных данных проводили по методикам² с использованием компьютерных программ Ms. Excel и Statistica 10.

Результаты и их обсуждение. Для селекционера особый интерес представляет увеличение урожайности при соблюдении продолжительности вегетационного периода. Так как

известно, что повысить урожайность любой культуры гораздо легче за счет увеличения вегетационного периода [5, 7, 19, 20, 21]. При этом следует учитывать внешние факторы, такие как температура воздуха и количество осадков. Так, высокая температура воздуха в период вегетации суданской травы ускоряет развитие растений, в результате чего происходит более быстрое созревание семян. Однако без осадков это зерно будет щуплым и, следовательно, урожайность получим ниже [7, 20].

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа показали, что варианты, отражающие изменчивость урожайности по укосам, по годам и изменчивость, вызванную их взаимодействием, достоверны с высокой вероятностью ($p < 0,001$). Наибольший вклад в изменчивость урожайности зеленой массы суданской травы вносит фактор В – условия возделывания (45,7 %), доля фактора А (укосы) составляет 13,5 %, а взаимодействие обоих факторов – 27,6 % (табл. 1).

Таблица 1 – Дисперсионный анализ урожайности зеленой массы суданской травы сорта Алиса по укосам за 2012-2021 гг. /

Table 1 – Variance analysis of green mass productivity of Sudan grass Alisa variety by cuttings for 2012-2021

Источник вариации / Source of variation	Доля влияния фактора, % / Share of influence of the factor	Степень свободы (df) / Degree of freedom (df)	Средний квадрат (ms) / Medium square (ms)	Критерий Фишера (F) / Fisher's criterion
Фактор А (укос) / Factor A (Cut)	13,5	1	963	16,50
Фактор В (год) / Factor B (Year)	45,7	9	362	30,13
Взаимодействие АхВ / Interaction АхВ	27,6	18	109	9,10
Случайные отклонения / Random deviations	13,1	16	58	-

Урожайность зеленой массы суданской травы по годам значительно различалась. На рисунке 1 показаны изменения урожайности и основных метеорологических условий, влияющих на нее, за последние 10 лет.

Наибольшая урожайность зеленой массы суданской травы сорта Алиса сформировалась в 2021 и 2017 гг. – 42,5 и 41,0 т/га, наименьшая – в 2013 и 2018 гг. – 28,0 и 26,2 т/га соответственно. Поэтому в данной работе сравниваются условия, сложившиеся в эти годы между собой. Несмотря на то, что посев был проведен в отдельные годы с большим отрывом (в 2013 и 2017 гг. – 03.05, в 2018 г. – 10.05, в 2021 г. –

17.05), полная спелость зерна наступила практически одновременно (табл. 2).

Одной из причин этого, послужили неблагоприятные условия для всходов и развития растений на начальном этапе роста, в результате чего период «посев-всходы» в 2013, 2017, 2018 гг. увеличился до 10-11 дней. В эти годы перед посевом практически не было осадков около месяца, почва была сухая, и, несмотря на благоприятную температуру для посева – 17,5-20,4 °С, произошла задержка всходов. В 2017 г. после посева наступило похолодание до 13 °С. Согласно проведенным ранее исследованиям, снижение температуры на 1 °С

¹Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 2. Зерновые, крупяные, зернобобовые, кукуруза и кормовые культуры. М., 1989. 194 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Альянс, 2014. 351 с

приводит к увеличению данного периода на 2,5 дня [15]. Условия в 2021 году были благоприятными для посева – в начале мая выпало

около 60 мм осадков, температура воздуха была 20,3 °С, в результате всходы появились на 6-й день после посева.

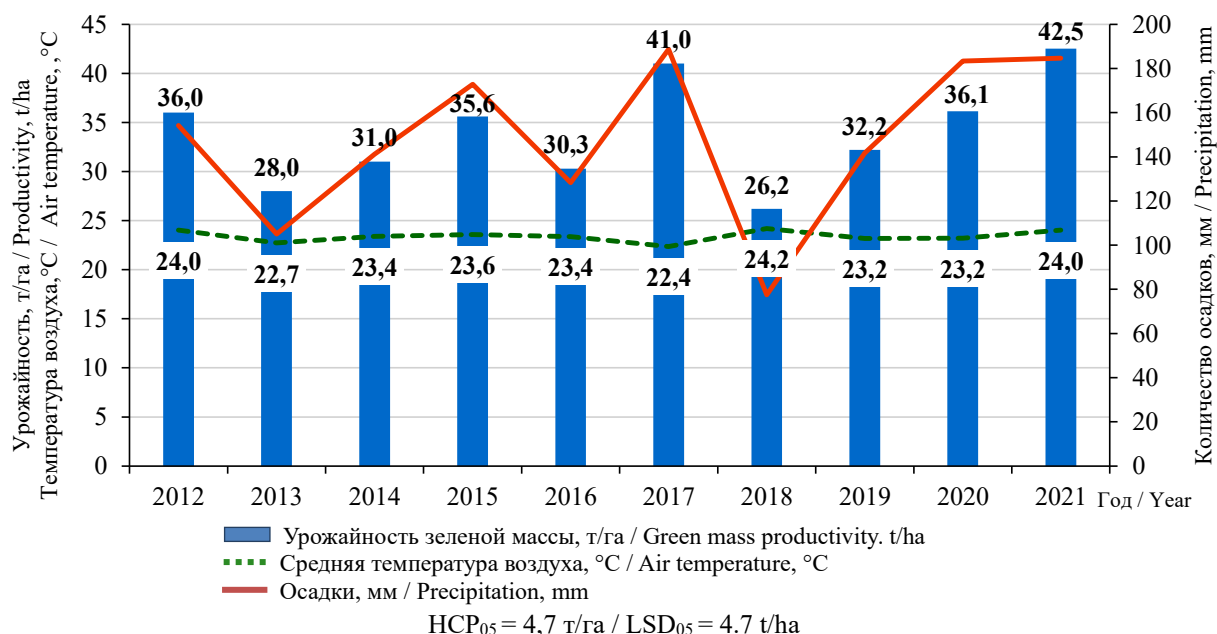


Рис. 1. Урожайность зеленой массы суданской травы сорта Алиса и метеорологические условия (2012-2021 гг.) /
Fig. 1. Green mass productivity of Sudan grass Alisa variety and meteorological conditions (2012-2021)

Таблица 2 – Фенологические наблюдения за сортом суданской травы Алиса /
Table 1 – Phenological observations of Sudan grass Alisa variety

Год / Year	Посев / Sowing	Всходы / Sprouts	Выход в трубку / Stem elongation	Выметывание / Heading stage	Цвение / Flowering	Молочно-восковая спелость / Milky-wax maturity	Полная спелость / Full maturity	Укос / Cut
2013	03.05	14.05	01.07	09.07	12.07	11.08	17.08	26.08
2018	10.05	21.05	11/0.	18.07	21.07	12.08	20.08	29.08
2017	03.05	13.05	08.07	13.07	17.07	15.08	20.08	11.08
2021	17.05	23.05	08.07	14.07	18.07	12.08	19.08	31.08
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	3,0	1,0	2,0	4,0	1,0	5,0	5,0	4,0

По метеорологическим условиям 2013 и 2018 гг. очень близки, как и 2017 и 2021 гг. На рисунке 2 показаны метеорологические условия по декадам в 2018 и 2021 гг., то есть в год с минимальной и максимальной урожайностью зеленой массы. В сумме за вегетацию по температурному режиму эти года идентичны – сумма температур за период «всходы-полная спелость зерна» в 2018 г. составила 2249 °С, средняя температура воздуха – 24,1 °С, в 2021 г. – 2139 °С и 24,3 °С соответственно. Пик жары

в 2018 г. наблюдался в июне, в период формирования 1 укоса зеленой массы, в 2021 г. – июле и августе, когда формируется 2 укос.

Распределение осадков в оба года было неравномерным. Сумма осадков за период «всходы-полная спелость зерна» в 2018 г. составила 90,2 мм, в 2021 г. – 184,6 мм, то есть в 2 раза больше. Сумма осадков за период «всходы-выметывание» в 2021 г. составила 119,2 мм, в 2018 г. – 60,2 мм, но осадки выпали в середине июня, в период проведения уборки

суданской травы на зеленую массу. В мае-июне, когда проходит основной критический период водопотребления у сорговых культур (всходы-кущение) – осадки отсутствовали, что

привело к низкорослости, слабому развитию листовой пластинки, а, следовательно, и низкой урожайности зеленой массы.

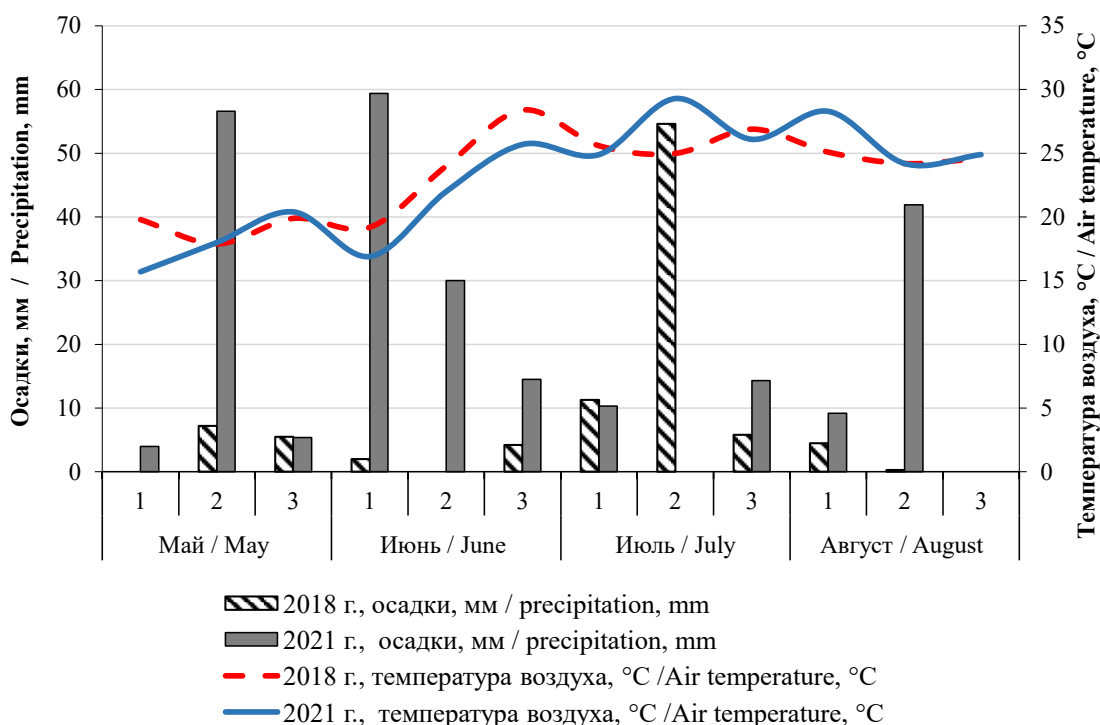


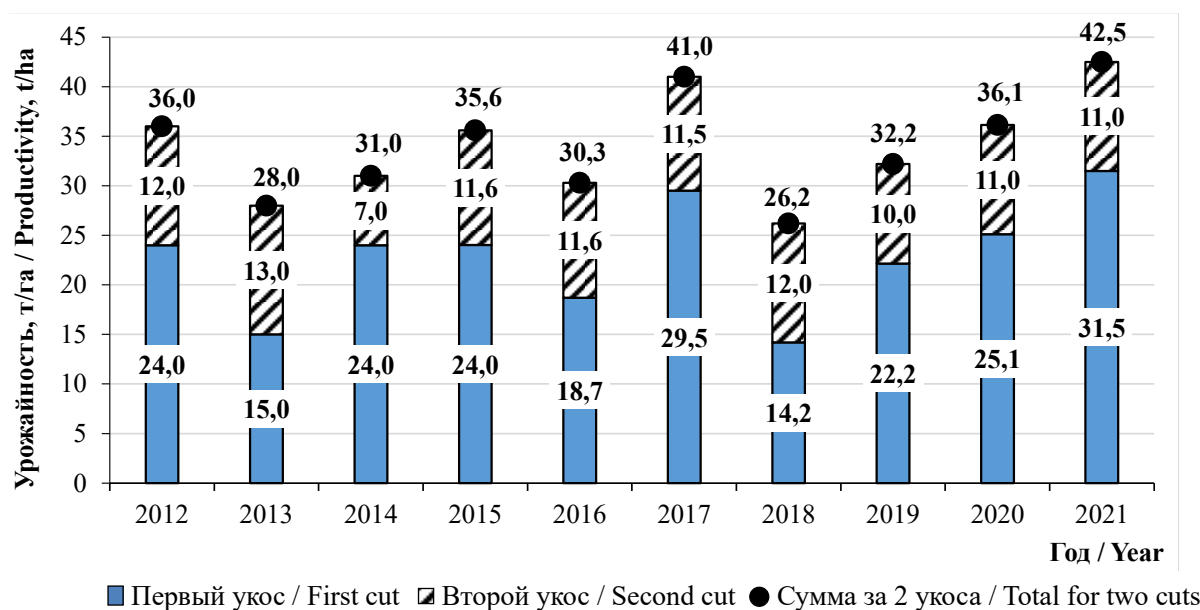
Рис. 2. Метеорологические условия вегетации суданской травы по декадам 2018, 2021 гг. /
Fig. 2. Meteorological conditions of Sudan grass vegetation by decades, 2018, 2021

Сумма осадков за период «1-2 укос» в 2018 г. составила – 47 мм (июль – сразу после уборки зеленой массы), средняя температура воздуха – 25,1 °С, в 2021 г. – 65,4 мм (конец августа – уборка 31.08.) и 24,8 °С. То есть в 2018 г. период «1-2 укос» был более благоприятным, благодаря обильным осадкам в июле, что способствовало формированию 2 укоса зеленой массы. Таким образом, 2021 г. был более продуктивным как по температурному режиму, так и влагообеспеченности для формирования первого укоса зеленой массы, 2018 г. – для формирования 2 укоса. Несмотря на это, основным и более продуктивным является первый укос зеленой массы, растения суданской травы не смогли компенсировать недостаток зеленой массы вторым укосом. В 2018 г. урожайность в 1 укосе составила 14,2 т/га, во 2 укосе – 12 т/га (84,5 % от первого укоса и 45,8 % – от суммы за 2 укоса), в 2021 г. – 31,5 и 11,0 т/га соответственно, то есть во втором укосе получено 35 % от первого и 26,5 % от общего урожая (рис. 3).

Благоприятные условия для формирования 1 укоса также сложились в 2017 году. Урожайность зеленой массы в 1 укосе составила 29,5 т/га, во 2 – 11,5 т/га (38,9 % от первого укоса и 28 % от суммы за 2 укоса). Для формирования 2 укоса были благоприятными условия в 2013 г. – урожайность во втором укосе составила 13,0 т/га, что соответствует 86,7 % от первого укоса и 46,4 % от суммы за 2 укоса.

Корреляционный анализ подтвердил, что урожайность зеленой массы в первом укосе имеет тесную положительную связь с количеством осадков за период «всходы-выметывание» ($r = 0,78$), при увеличении осадков на 1 мм за этот период урожайность увеличивается на 0,137 т/га (рис. 4).

Со средней температурой воздуха за период «всходы-выметывание» урожайность зеленой массы первого укоса имеет среднюю положительную связь ($r = -0,57$) и при ее увеличении на 1°, урожайность снижается на 2,56 т/га (рис. 5).



HCP₀₅ (1 укос) = 4,6 т/га; HCP₀₅ (2 укос) = 4,3 т/га; HCP₀₅ (сумма за два укоса) = 4,7 т/га /
LSD₀₅ (the 1st cut) = 4.6 t/ha; LSD₀₅ (the 2nd cut) = 4.3 t/ha; LSD₀₅ (total for two cuts) = 4.7 t/ha

Рис. 3. Распределение урожайности зеленой массы суданской травы сорта Алиса по укосам (2012-2021 гг.) /
Fig. 3. Distribution of green mass productivity of Sudan grass Alisa variety according to the cuts (2012-2021)

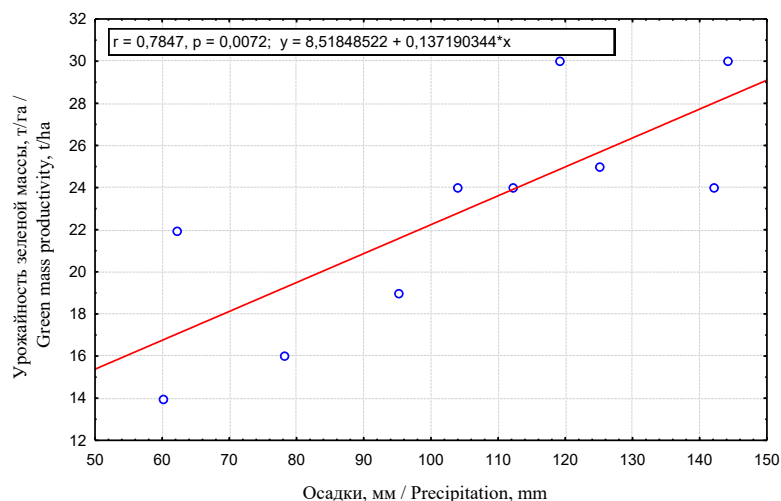


Рис. 4. Зависимость урожайности зеленой массы суданской травы сорта Алиса от количества осадков (2012-2021 гг.) /

Fig. 4. Dependence of green mass productivity of Sudan grass Alisa variety on total precipitation (2012-2021)

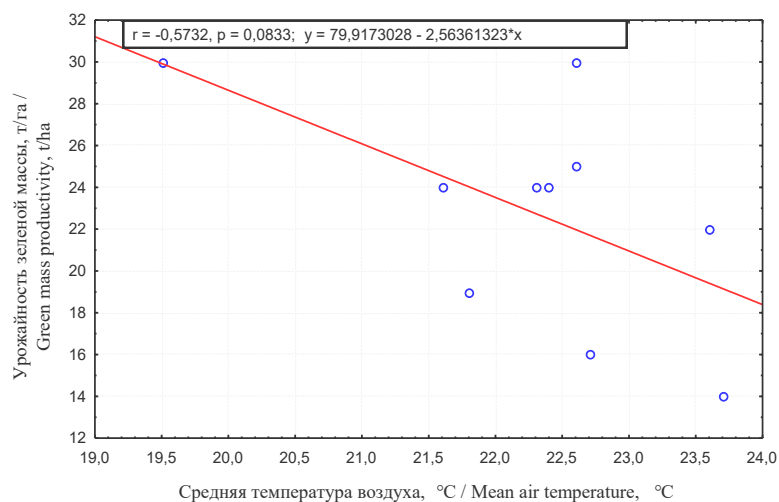


Рис. 5. Зависимость урожайности зеленой массы суданской травы сорта Алиса от средней температуры воздуха (2012-2021 гг.) /

Fig. 5. Dependence of green mass productivity of Sudan grass Alisa variety on mean air temperature (2012-2021)

Достоверных корреляционных связей урожайности зеленой массы суданской травы во втором укосе с метеорологическими факторами не выявлено.

Заключение. Согласно дисперсионному анализу, наибольший вклад в изменчивость урожайности зеленой массы суданской травы сорта Алиса вносят условия возделывания (45,7 %). За период 2012-2021 гг. урожайность значительно варьировала от 26 до 43 т/га. В ходе анализа установлено, что наибольшее влияние на урожайность зеленой массы ока-

зывает наличие осадков в период «всходы-выметывание», то есть до первого укоса ($r = 0,78$). Наличие осадков в период «1-2 укос» способствует формированию высокой продуктивности второго укоса, который не может компенсировать недостаток урожайности в первом укосе. Основным и более продуктивным является первый укос зеленой массы. Так, доля первого укоса в общей урожайности составляет от 54,2 до 74,1 %, доля второго – не более 45,8 % в годы с высоким количеством осадков в июле-августе.

Список литературы

1. Барановский А. В. Совершенствование основных элементов технологии возделывания зернового сорго гибрида Свифт в засушливых условиях Донбасса. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(2(76)):69-72. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38195030>
2. Капустин С. И., Володин А. Б., Капустин А. С., Стройный А. М. Продуктивность суданской травы в Центральном Предкавказье. Таврический вестник аграрной науки. 2019;1(17):62-70. DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-1-17-62-70>
3. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurtov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic. E3S Web of Conferences. 2021;262:01012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201012>
4. Daba A. W., Bethel N. L. M., Bekele T. Evaluation of some selected forage grasses for their salt tolerance, ameliorative effect and biomass yield under salt affected soil at Southern Afar, Ethiopia. Journal of Soil Science and Environmental Management. 2019;10(5):94-102. DOI: <https://doi.org/10.5897/jssem2018.0754>
5. Rajani V., Ramesh K., Anamika N. Drought Resistance Mechanism and Adaptation to Water Stress in Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]. International Journal of Bio-resource and Stress Management. 2018;9:167-172. DOI: <https://doi.org/10.23910/IJBMSM/2018.9.1.3C0472>
6. Zhu Y., Wang X., Huang L., Lin Ch., Zhang X., Xu W., Peng J., Li Z., Yan H., Luo F., Wang X., Yao L., Peng D. Transcriptomic Identification of Drought-Related Genes and SSR Markers in Sudan Grass Based on RNA-Seq. PlantSci. 2017;(8):687. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00687>
7. Горпиниченко С. И., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Ермолина Г. М., Муслимов М. Г. Сорго – культура для засушливых территорий. Проблемы развития АПК региона. 2017;31(3):5-10.
8. Плескачев Ю. Н., Лаптина Ю. А., Гиченкова О. Г. Поукосный анализ продуктивности суданской травы в зависимости от норм высева и минерального питания. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2021;(2(48)):15-20. DOI: <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2021-48-2-15-20>
9. Kovtunova N., Kovtunov V., Popov A., Volodin A., Shishova E., Romanyukin A. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F 1. E3S Web of Conferences. 2020;175:01012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017501012>
10. Болдырева Л. Л., Луговская А. А. Суданская трава и сорго-суданковые гибриды как источник исходного материала для селекции. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2017;(66): 41-45. DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-66-41-45>
11. Шишова Е. А. Качество зеленой массы коллекции суданской травы. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и профессиональное образование. 2017;(2(46)):145-151. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30513909>
12. Лаптина Ю. А., Плескачев Ю. Н., Гиченкова О. Г. Оптимизация параметров возделывания суданской травы в условиях Нижнего Поволжья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021;(2(62)):260-270. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46333208>
13. Hussein M. M., Alva A. K. Growth, Yield and Water Use Efficiency of Forage Sorghum as Affected by Npk Fertilizer and Deficit Irrigation. American Journal of Plant Sciences. 2014;5(13):2134-2140. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.513225>
14. Ковтунов В. В., Барановский А. В. Влияние густоты стояния растений на урожайность сорта сорго зернового Атаман в условиях Луганской области. Зерновое хозяйство России. 2020;(5):39-44. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-71-5-39-44>
15. Алабушев А. В., Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е., Шишова Е. А. Изменчивость и взаимосвязь количественных признаков суданской травы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2019;(4):10-14. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/10-14>

16. Инжечик О. Г., Ахмадиева С. А. Сорго травянистое в Восточном Казахстане. Наука и мир. 2020;6-1(82):39-40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43867647>
17. Муслимов М. Г., Камилова Э. С. Урожайность зелёной массы сахарного сорго при разных сроках посева в равнинной зоне Республики Дагестан. Проблемы развития АПК региона. 2021;(2(46)):65-67. DOI: https://doi.org/10.52671/20790996_2021_2_65
18. Горпиниченко С. И., Беседа Н. А., Ермолина Г. М., Вахрушева Л. В., Метлина Г. В., Ковтунов В. В. Технология возделывания суданской травы на семена. Ростов-на-Дону: ЗАО «Книга», 2011. 20 с.
19. Ковтунова Н. А., Алабушев А. В., Романюкин А. Е., Шишова Е. А. Динамика роста и развития растений суданской травы. Вестник Марийского государственного университета. Серия «Сельскохозяйственные науки. Экономические науки». 2018;4(4):35-43. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-4-35-43>
20. Биктимиров Р. А., Низаева А. А. Оценка экологической стабильности и пластичности сортов зернового сорго в условиях Республики Башкортостан. Зерновое хозяйство России. 2021;(1(73)):39-43. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43>
21. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Шишова Е. А. Влияние метеорологических условий на урожайность и качество зеленой массы суданской травы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2016;(3):39-41. Режим доступа: <http://www.vestnik-rsn.ru/vrsn/article/view/258>

References

1. Baranovskiy A. V. Improvement of the main elements of cultivation technology of the Swift grain sorghum hybrid in arid conditions of Donbass. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2019;(2(76)):69-72. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38195030>
2. Kapustin S. I., Volodin A. B., Kapustin A. S., Stroyny A. M. Productivity of sudangrass in Central Ciscaucasia. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2019;1(17):62-70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33952/2542-0720-2019-1-17-62-70>
3. Kushkhov A., Berbekova N., Zhurlov A. Productivity of sudan grass and sorghum-sudangrass hybrids depending on seeding rates and planting methods in the steppe dryland zone of the Kabardino-Balkarian Republic. *E3S Web of Conferences*. 2021;262:01012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202126201012>
4. Daba A. W., Bethel N. L. M., Bekele T. Evaluation of some selected forage grasses for their salt tolerance, ameliorative effect and biomass yield under salt affected soil at Southern Afar, Ethiopia. *Journal of Soil Science and Environmental Management*. 2019;10(5):94-102. DOI: <https://doi.org/10.5897/jssem2018.0754>
5. Rajani V., Ramesh K., Anamika N. Drought Resistance Mechanism and Adaptation to Water Stress in Sorghum [Sorghum bicolor (L.) Moench]. *International Journal of Bio-resource and Stress Management*. 2018;9:167-172. DOI: <https://doi.org/10.23910/IJBMSM/2018.9.1.3C0472>
6. Zhu Y., Wang X., Huang L., Lin Ch., Zhang X., Xu W., Peng J., Li Z., Yan H., Luo F., Wang X., Yao L., Peng D. Transcriptomic Identification of Drought-Related Genes and SSR Markers in Sudan Grass Based on RNA-Seq. *PlantSci*. 2017;(8):687. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.00687>
7. Gorpinichenko S. I., Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Ermolina G. M., Muslimov M. G. Sorghum is a crop for arid areas. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2017;31(3):5-10. (In Russ.).
8. Pleskachev Yu. N., Laptina Yu. A., Gichenkova O. G. Productivity of sudan grass depending on seeding rates and fertilizing. *Teoreticheskie i prikladnye problemy agropromyshlennogo kompleksa* = Theoretical & Applied Problems of Agro-industry. 2021;(2(48)):15-20. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2021-48-2-15-20>
9. Kovtunova N., Kovtunov V., Popov A., Volodin A., Shishova E., Romanyukin A. Inheritance of the main quantitative traits in sweet sorghum hybrids F 1. *E3S Web of Conferences*. 2020;175:01012. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202017501012>
10. Boldyreva L. L., Lugovskaya A. A. Sudan grass and sorghums-sudanese hybrids as a source of the initial material for selection. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2017;(66): 41-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-66-41-45>
11. Shishova E. A. Quality of the green mass of the sudan herbs. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2017;(2(46)):145-151. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30513909>
12. Laptina Yu. A., Pleskachev Yu. N., Gichenkova O. G. Optimization of the parameters of cultivation of sudan grass in the conditions of the lower Volga region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2021;(2(62)):260-270. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46333208>
13. Hussein M. M., Alva A. K. Growth, Yield and Water Use Efficiency of Forage Sorghum as Affected by Npk Fertilizer and Deficit Irrigation. *American Journal of Plant Sciences*. 2014;5(13):2134-2140. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2014.513225>

14. Kovtunov V. V., Baranovsky A. V. The effect of plant density on productivity of the grain sorghum variety 'Ataman' in the Lugansk region. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2020;(5):39-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2020-71-5-39-44>
15. Alabushev A. V., Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E., Shishova E. A. variability and correlation of quantitative characters of the sudan grass. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;(4):10-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/4/10-14>
16. Inzhechik O. G., Akhmadieva S. A. Herbaceous sorghum in east Kazakhstan. *Nauka i mir* = Science and World. 2020;61(82):39-40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43867647>
17. Muslimov M. G., Kamilova E. S. Yield of green mass of sugar sorghum at different sowing dates in the flat zone of the republic of Dagestan. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2021;(2(46)):65-67. (In Russ.). DOI https://doi.org/10.52671/20790996_2021_2_65
18. Gorpinichenko S. I., Beseda N. A., Ermolina G. M., Vakhrusheva L. V., Metlina G. V., Kovtunov V. V. Technology of cultivation of Sudanese grass for seeds. Rostov-na-Donu: ZAO «Kniga», 2011. 20 p.
19. Kovtunova N. A., Alabushev A. V., Romanyukin A. E., Shishova E. A. Growth and development dynamics of sudan grass varieties. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya «Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskie nauki»* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2018;4(4):35-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2018-4-4-35-43>
20. Biktimirov R. A., Nizaeva A. A. The estimation of environmental stability and adaptability of the grain sorghum varieties in the Republic of Bashkortostan. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2021;(1(73)):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-39-43>
21. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Shishova E. A. Influence of meteorological conditions on cropping power and quality of green mass in Sudan-grass. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2016;(3):39-41. (In Russ.). URL: <http://www.vestnik-rsn.ru/vrsn/article/view/258>

Сведения об авторах

✉ **Ковтунова Наталья Александровна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Ростовская область, г. Зерноград, Российская Федерация, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0409-5855>, e-mail: n-beseda@mail.ru

Ковтунов Владимир Викторович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго зернового, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Ростовская область, г. Зерноград, Российская Федерация, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7510-7705>

Романюкин Александр Егорович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Ростовская область, г. Зерноград, Российская Федерация, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4349-8489>

Ермолина Галина Михайловна, кандидат с.-х. наук, техник-исследователь лаборатории селекции и семеноводства сорго кормового, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», Научный городок, д. 3, Ростовская область, г. Зерноград, Российская Федерация, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0168-2966>

Information about the authors

✉ **Natalia A. Kovtunova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Forage Sorghum Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center "Donskoy", Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru,

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0409-5855>, e-mail: n-beseda@mail.ru

Vladimir V. Kovtunov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Forage Sorghum Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center "Donskoy", Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7510-7705>

Aleksander E. Romanyukin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Forage Sorghum Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center "Donskoy", Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4349-8489>

Galina M. Ermolina, PhD in Agricultural Science, research technician, the Laboratory of Forage Sorghum Breeding and Seed Production, Agricultural Research Center "Donskoy", Nauchny Gorodok, 3, Zernograd, Rostov region, Russian Federation, 347740, e-mail: sorgo.vniizk@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0168-2966>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Стабильность и пластичность хозяйственно ценных признаков у образцов козлятника восточного в условиях Мурманской области

© 2022. И. В. Михайлова¹, А. Б. Хвостова¹, Л. Л. Малышев²✉

¹Полярная опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», г. Апатиты, Мурманская обл., Российская Федерация

²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Целью данной работы являлась оценка параметров стабильности и пластичности 30 образцов коллекции козлятника восточного. Исследования выполнены на Полярной ОС ВИР (г. Апатиты, Мурманская обл.) в 2005–2009 гг. Наблюдения и учеты проводили согласно методическим указаниям ВИР. Статистическая обработка данных включала в себя расчет индексов стабильности и экологической пластичности. В годы исследований складывались различные условия для проявления изучаемых признаков: благоприятные – по зимостойкости и облиственности в 2005 г. (индекс среды +4,1 и +6,1 соответственно), высоте растений и семенной продуктивности – в 2009 г. (+24,8 и +10,9), кустистости – в 2006 г. (+7,4), кормовой продуктивности – в 2008 г. (+0,33); неблагоприятные – по зимостойкости в 2008 г. (-2,9), высоте и кормовой продуктивности в 2006 г. (-23,8 и -0,44), кустистости, облиственности и семенной продуктивности в 2007 г. (-5,0 -3,0 и -6,4). Изменчивость параметра стабильности по высоте растений и урожайности воздушно-сухой массы – средняя, по кустистости, облиственности и урожайности семян – высокая, по зимостойкости – очень высокая. Изученные образцы достаточно равномерно распределены по группам с низкой, оптимальной и высокой величиной параметра стабильности. Ценным материалом для селекции являются натурализовавшиеся в Мурманской области образцы к-55536 и к-55537 с высокой кормовой (19,5±2,32 и 19,8±1,94 т/га) и семенной (6,45±0,371 и 6,85±0,282 ц/га) продуктивностью, стабильностью показателя урожайности семян, отзывчивостью на улучшение условий выращивания по урожайности воздушно-сухой массы.

Ключевые слова: *Galega orientalis*, генетические ресурсы, изменчивость признаков, адаптационная способность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (тема № 0662-2020-0005 АААА-А19-119013090156-4). Исследование проводилось на материале из коллекции генетических ресурсов козлятника восточного, хранящейся в ВИР.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Михайлова И. В., Хвостова А. Б., Малышев Л. Л. Стабильность и пластичность хозяйственно ценных признаков у образцов козлятника восточного в условиях Мурманской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):343-350. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.343-350>

Поступила: 07.04.2022

Принята к публикации: 23.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Stability and plasticity of agronomic traits in accessions of Eastern galega in the conditions of the Murmansk region

© 2022. Irina V. Mikhailova¹, Alexandra B. Khvostova¹, Leonid L. Malyshev²✉

¹Polar Experimental Station – branch of Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Apatity, Russian Federation

²Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Saint-Petersburg, Russian Federation

The purpose of this work was to evaluate the stability and plasticity parameters of 30 samples of the collection of Eastern galega (*Galega orientalis*). The research was carried out on the Polar OS VIR (Apatity, Murmansk region) in 2005–2009. Observations and records were carried out according to the VIR guidelines. Statistical data processing included the calculation of stability and environmental plasticity indices. During the years of the research, various conditions were formed for the manifestation of the studied traits: favorable – according to winter hardiness and foliage in 2005 (environment index +4.1 and +6.1), plant height and seed productivity – in 2009 (+24.8 and +10.9), bushiness – in 2006 (+7.4), fodder productivity – in 2008 (+0.33); unfavorable – for winter hardiness in 2008 (-2.9), height and feed productivity in 2006 (-23.8 and -0.44), bushiness, leafiness and seed productivity in 2007 (-5.0, -3.0 and -6.4). The variability of the stability parameter in plant height and yield of air-dry mass is average, in bushiness, leafiness and seed yield is high, in winter hardiness is very high. The studied accessions are fairly evenly distributed among groups with low, optimal and high values of the stability parameter.

Valuable material for breeding are k-55536 and k-55537 accessions naturalized in the Murmansk region with high feed (19.5 ± 2.32 and 19.8 ± 1.94 t/ha) and seed (6.45 ± 0.371 and 6.85 ± 0.282 c/ha) productivity, stability of the seed yield index, responsiveness to improving growing conditions according to the yield of air-dry mass.

Keywords: *Galega orientalis*, genetic resources, variability of traits, adaptive ability

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (theme No. 0662-2020-0005 AAAA-A19-119013090156-4). The research was performed on the material from the collection of galega genetic resources held by VIR.

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: Mikhailova I. V., Khvostova A. B., Malyshev L. L. Stability and plasticity of agronomic traits in accessions of Eastern galega (*Galega orientalis*) in the conditions of the Murmansk region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):343-350. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.343-350>

Received: 07.04.2022

Accepted for publication: 23.05.2022

Published online: 23.06.2022

Нестабильность оценок хозяйственно ценных признаков сортов и популяций во многом связана с их различной реакцией на изменения внешних условий. Многие новые сорта не востребованы не из-за низкого потенциала продуктивности, а вследствие их недостаточной экологической стабильности и адаптивности [1].

В качестве метода оценки стабильности и пластичности признака наиболее часто используется модель S. A. Eberhart & W. A. Russell, в которой оценивается коэффициент линейной регрессии признака по данному образцу на индекс среды b_i – как мера стабильности, и дисперсия отклонений значений признака от линии регрессии S^2_d – как мера пластичности признака у данного образца [2]. Существует различное мнение о биологической интерпретации данных параметров. Параметр b_i рассматривается как мера адаптивности [3], мера стабильности [2], а в бывшем СССР и России как мера пластичности образца [4, 5, 6]. Авторы метода считают оптимальным значение $b_i = 1$, при котором имеется полное соответствие изменения урожайности образца изменению условий среды [2, 7]. Значения $b_i > 1$ рассматриваются как показатель хорошей отзывчивости генотипа на благоприятные условия среды [6]. Величина $b_i < 1$ может свидетельствовать о высокой устойчивости образца к стрессам [8].

Оценка стабильности и пластичности урожайности зеленой массы проводилась на сортах и образцах многолетних кормовых бобовых культур: люпина желтого [9], люцерны изменчивой [10], клевера лугового [11], клевера ползучего [12], донника белого [13], эспарцета [14]. Оценка параметра стабильности, по данным этих исследований, была близка к оптимальной $b_i = 1,0$.

В 2005-2009 гг. на Полярной опытной станции ВИР проводили комплексное изучение коллекции козлятника восточного, в результате которого выделен ценный исходный материал для создания сортов, адаптированных к условиям Заполярья [15]. Полученные данные послужили материалом для оценки реакции образцов коллекции на изменчивость условий среды.

Цель исследований – оценить параметры стабильности и пластичности коллекции козлятника восточного для выявления адаптационного потенциала перспективных образцов в условиях Мурманской области.

Научная новизна. Впервые проведена оценка параметров стабильности и пластичности коллекционных образцов козлятника восточного в условиях Кольского Заполярья.

Материал и методы. Материалом для исследований служили коллекции образцов козлятника восточного, полученные из Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова. В 2003 г. на Полярной опытной станции ВИР заложена коллекция из 36 образцов козлятника восточного. Наблюдения и учеты проводили в 2005-2009 гг. Изучали дикорастущие образцы из Армении, Республики Адыгея и Краснодарского края, коллекционный образец из Московской области, селекционные сорта и образцы, адаптированные к условиям Мурманской области, семена которых были собраны на делянках экологического посева 1991 г. В 2006 г. выпал из посевов сорт Гале, в 2008 г. – пять дикорастущих образцов из Республики Адыгея и Краснодарского края.

Опытный участок заложен на береговом склоне оз. Имандра. Почва – окультуренный иллювиально-гумусовый подзол ($pH_{водн.} = 6,6$,

$pH_{\text{сол}} - 5,9$; Ca – 2,18 мг-экв/100 г, Mg – 0,41 мг-экв/100 г; $K_2O - 32$ мг/кг, C – 3,38 %, N – 0,3 %, содержание органического вещества 11,12 %).

Посев изучаемых культур проведен в трехкратной повторности. Способ посева рядовой, ширина междурядий 15 см, площадь делянки 2 м². Проведена обработка семян ризоторфином, содержащим штаммы симбиотических бактерий.

Наблюдения и учеты проводили согласно методическим указаниям ВИР¹ по следующим признакам: зимостойкость, высота растений, число побегов, облиственность, урожай сена и урожай семян с делянки.

Погодные условия в годы исследования отличались по температурному и водному режимам. Колебания среднесуточных температур в рассматриваемый период времени были незначительны. Наиболее теплыми, по сравнению со среднепогодной темпе-

ратурой в вегетационный период, были 2006 и 2009 гг. Среднесуточная температура в мае месяце составляла 6-7 °С. В эти годы наиболее теплыми были первые месяцы лета. В 2005 и 2007 гг. отмечена более высокая среднесуточная температура во второй половине вегетационного периода и продолжительный безморозный период в октябре. Среднесуточные температуры воздуха в 2008 г. были наименьшими по сравнению со среднепогодными данными. В зимний период наиболее низкие температуры наблюдались в феврале 2007 и 2008 гг. и достигали отметки -20,9 °С и -9,2 °С соответственно при значении среднепогодной температуры в феврале -14 °С. Резкие перепады температур в течение зимних месяцев отрицательно влияли на перезимовку трав. Частые оттепели наблюдались в январе, феврале, марте 2006 и 2007 гг., а также в ноябре 2006 г. (рис. 1).

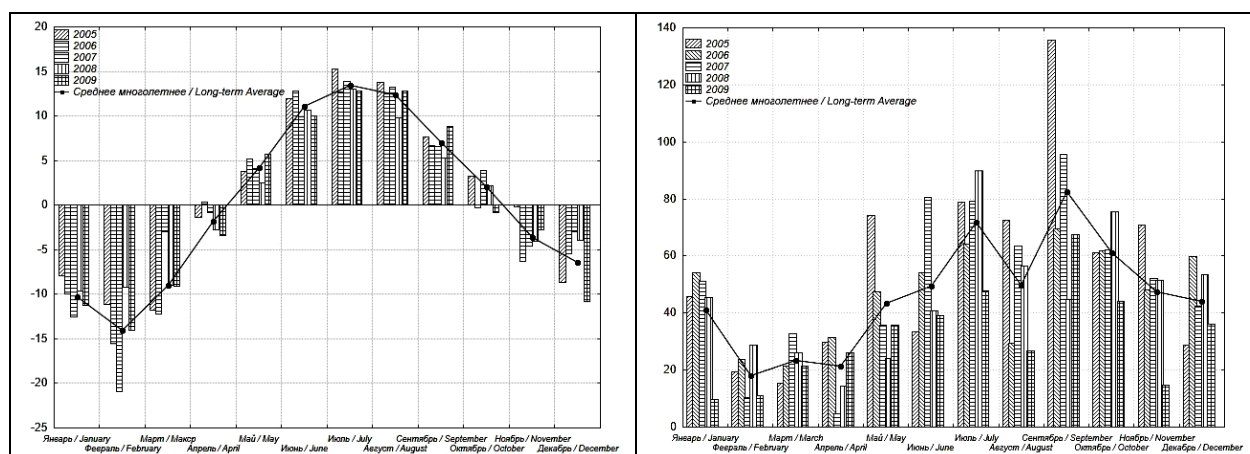


Рис. 1. Среднесуточная температура воздуха (слева) и сумма осадков за месяц (справа) в 2005-2009 гг. (филиал «Полярная ОС ВИР»)

Fig. 1. Average daily air temperature (left) and monthly precipitation (right) in 2005-2009. (branch "Polar OS VIR")

Таким образом, наиболее благоприятным для развития растений по метеорологическим условиям являлся 2009 г. с наименьшими колебаниями среднесуточных температур, большей высотой снежного покрова и умеренным количеством осадков.

Статистическая обработка данных включала расчет индексов стабильности и экологической пластичности по основным признакам по методу S. A. Eberhart & W. A. Russell [2]. Расчеты выполнены для 30 образцов козлятника восточного в условиях среды пяти лет

изучения. Вычисления проводили с использованием пакета программ Statistica 12.0.

Результаты и их обсуждение. Анализ стабильности по методу S. A. Eberhart & W. A. Russell включает в себя вычисление индексов среды (разность между средним по коллекции в данной среде и общим средним по всем образцам и условиям произрастания), коэффициента регрессии показателя i -го образца в j -ой среде на индекс среды (показатель стабильности) и дисперсии остатков регрессии (показатель пластичности).

¹Изучение коллекции многолетних кормовых растений: методические указания. Л.: ВИР, 1985. 48 с.

Вычисленные индексы среды показали, что благоприятные и неблагоприятные условия складывались для признаков в разные годы (табл. 1). По зимостойкости наиболее благоприятные условия среды сложились в 2005-2006 гг. В 2007-2009 гг. перезимовка растений была ниже, чем в среднем за годы исследования. Для проявления признака «высота растений» наиболее благоприят-

ными оказались 2005 и 2009 гг., наименее благоприятным – 2006 и 2007 гг. Самая высокая в среднем по коллекции кустистость (число побегов) отмечена в 2006 г. Для облиственности благоприятным сложился 2005, а для урожайности семян – 2009 г. Благоприятные условия для реализации потенциала урожайности воздушно-сухой массы сложились в 2005, 2008 и 2009 гг.

Таблица 1 – Индексы среды по хозяйственно ценным признакам козлятника восточного в годы изучения /
Table 1 – Indices of the environment according to agronomic traits of the Eastern galega by the years of study

Признак / Trait	2005 г.	2006 г.	2007 г.	2008 г.	2009 г.
Зимостойкость / Winter Hardness	4,1	3,6	-2,4	-2,9	-2,4
Высота растений / Plant Height	17,3	-23,8	-17,7	-0,6	24,8
Кустистость / Bushiness	-3,4	7,4	-5	3,4	-2,5
Облиственность / Leafiness	6,1	-2,5	-3	1,6	-2,3
Урожайность семян / Seed yield	-1,4	-0,1	-6,4	-3,0	10,9
Урожайность воздушно-сухой массы / Yield of air-dry mass	0,21	-0,44	-0,37	0,33	0,26

Величина параметров стабильности (b_i) и пластичности (S^2_d) у изученных образцов достоверна по всем признакам. Изменчивость параметра b_i по высоте растений и урожайности воздушно-сухой массы – средняя, по кустис-

тости, облиственности и урожайности семян – высокая, по зимостойкости – очень высокая. Размах изменчивости параметра пластичности S^2_d был высоким по всем показателям (табл. 2).

Таблица 2 – Диапазон и величина изменчивости параметров стабильности и пластичности у образцов коллекции козлятника восточного (n = 30) /
Table 2 – Range and magnitude of variability of stability and plasticity parameters in the samples of the collection of the Eastern galega (n = 30)

Признак / Trait	Стабильность (b_i) / Stability (b_i)			Пластичность (S^2_d) / Plasticity (S^2_d)		
	min	max	CV	min	max	CV
Зимостойкость / Winter Hardness	-4,46	6,43	272,7	2,66	403,18	73,7
Высота растений / Plant Height	0,29	1,67	30,7	10,75	868,75	101,0
Кустистость / Bushiness	-0,65	2,72	68,6	0,70	252,44	91,4
Облиственность / Leafiness	-0,16	2,01	65,1	1,17	241,63	119,5
Урожайность воздушно-сухой массы / Yield of air-dry mass	0,55	1,74	26,6	0,00	0,53	166,7
Урожайность семян / Seed yield	-0,76	2,86	90,2	9,38	259,73	88,9

Распределение образцов по показателям стабильности и пластичности отражены на рисунке 2. По величине параметра стабильности по каждому признаку образцы были разбиты на три класса: 1 – величина параметра достоверно ниже оптимальной ($p = 0,05$); 2 – величина параметра близка к оптимальной (лежит в пределах доверительного интервала от $b_i = 1$); 3 – величина параметра достоверно выше

оптимальной ($p = 0,05$). По величине параметра пластичности также выделены три класса: низкая (S^2_d меньше нижней границы доверительного интервала средней); средняя (S^2_d в пределах доверительного интервала); высокая (S^2_d больше верхней границы доверительного интервала средней).

Зимостойкость. Показатель стабильности достоверно ниже оптимальной имеют 12 об-

разцов из 30, 7 – близко к оптимальной и 11 – достоверно выше оптимальной. Стабильность двух перспективных образцов, сформированных по результатам естественного отбора на Полярной опытной станции ВИР в 1996 г., к-55536 и к-55537, стандартного сорта Надежда (к-48611) и сортов Спутник (к-46802) и Еля-ты (к-48851) (рис. 2) близка к оптимальной (b_i равно 0,056, 0,089, 1,787, 1,647 и 1,267 соответственно). Наиболее отзывчивыми на

условия среды были дикорастущие образцы из Краснодарского края к-17185 и к-48747 ($b_i = 6,429$ и $5,221$). Пластичность большей части образцов была низкой (13 образцов) и средней (9 образцов). Очень высокий показатель пластичности у дикорастущих образцов к-48762 из Адыгеи и к-11811 из Армении. Пластичность перспективных образцов к-53336, к-53337 и селекционных сортов средняя.

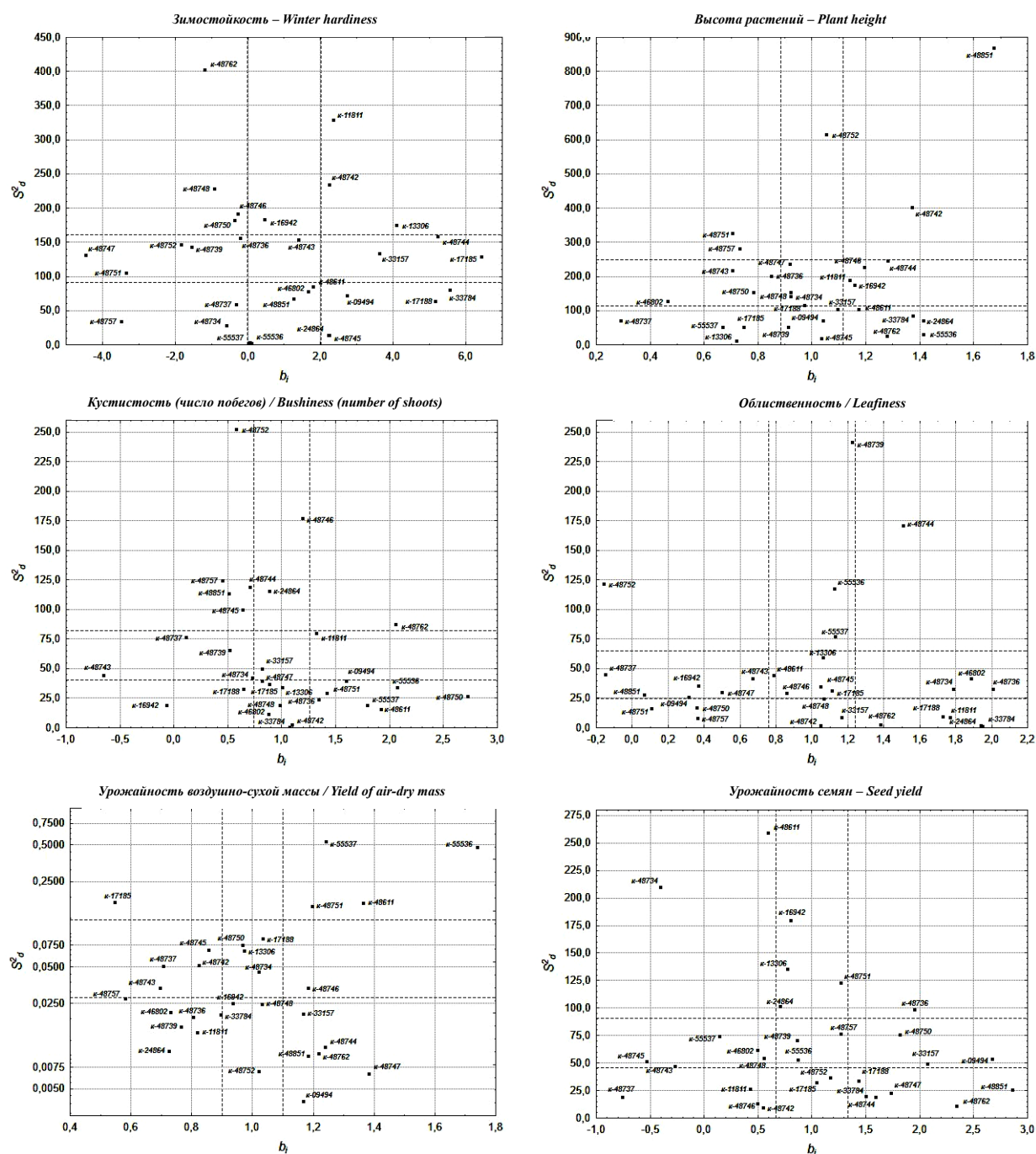


Рис. 2. Стабильность (b_i) и пластичность (S^2_d) основных хозяйственно ценных признаков у образцов коллекции козлятника восточного /

Fig. 2. Stability (b_i) and plasticity (S^2_d) of the main agronomic traits in the samples of the collection of the Eastern galega

Высота растений. По параметру стабильности к первому классу относятся 10 образцов, ко второму – 9, к третьему – 11. Все образцы с оптимальной стабильностью – дикорастущие популяции из Краснодарского края и Республики Адыгея. Сорта и перспективные образцы, натурализовавшиеся в Мурманской области, либо слабо реагируют на изменения условий среды (к-53337, $b_i = 0,465$; сорт Спутник, $b_i = 0,669$), либо, наоборот, отзывчивы на их улучшение (к-53336, сорта Надежда и Еля-ты: $b_i = 1,412$, $b_i = 1,173$ и $b_i = 1,673$ соответственно). По параметру пластичности к первому классу относятся 13 образцов, ко второму – 12, к третьему – 5. Пластичность сорта Спутник низкая, образцов к-53336 и к-53337 и сорта Надежда – средняя, сорта Еля-ты – высокая.

Кустистость (число побегов). Показатель стабильности ниже оптимального имеют 11 образцов, близкий к оптимальному значению – 10 и выше оптимального – 9 образцов. Перспективные образцы к-55536 и к-55537 из Мурманской области и сорт Надежда по этому признаку отзывчивы на условия среды ($b_i = 2,069$, $1,791$ и $1,918$ соответственно), у сорта Еля-ты стабильность ниже ($b_i = 0,508$), а у сорта Спутник на уровне оптимальной ($b_i = 0,874$). По параметру пластичности к первому классу относятся 16, ко второму классу – 6, к третьему – 8 образцов. Пластичность образцов к-53336 и к-53337 и сортов Надежда и Спутник – средняя, сорта Еля-ты – высокая.

Облиственность. Показатель стабильности ниже оптимального уровня у 10 сортов, на оптимальном уровне – у 11 и выше оптимального значения – у 9 образцов. У сорта Надежда и перспективных образцов к-55536 и к-55537 из Мурманской области стабильность на уровне оптимальной ($b_i = 0,784$, $1,126$ и $1,128$ соответственно), сорт Еля-ты слабо ($b_i = 0,066$), сорт Спутник ($b_i = 1,884$) – сильно отзывчив на условия года изучения. По параметру пластичности к первому классу относятся 11, ко второму классу – 14, к третьему – 5 образцов. Пластичность образцов к-53336 и к-53337 высокая, сортов Надежда, Спутник и Еля-ты – низкая. Очень высокая пластичность у образца к-48739 из Адыгеи.

Урожайность воздушно-сухой массы. По урожайности воздушно-сухой массы лишь 7 образцов имеют оптимальный уровень показателя стабильности, 12 образцов слабо отзывчивы, а 11 сильно отзывчивы на изменение

условий среды. Наиболее высокая отзывчивость у образца к-55536 ($b_i = 1,738$), также показатель выше оптимального значения имеют образец к-55537 и сорта Надежда и Еля-ты ($b_i = 1,242$, $1,365$ и $1,183$ соответственно). Сорт Спутник имеет низкий показатель стабильности ($b_i = 0,730$). Пластичность большей части образцов была низкой (16 образцов) и средней (9 образцов). Пластичность перспективных образцов к-53336 и к-53337, сорта Надежда – высокая, сортов Спутник и Еля-ты – средняя.

Урожайность семян. Низкой величиной показателя стабильности отличаются 11, близкой к оптимальной величине – 9 и высокой – 10 образцов. Образец к-55536 имеет оптимальный уровень показателя ($b_i = 0,872$). Сорта Надежда и Спутник, образец к-55537 слабо реагируют по данному признаку на условия среды ($b_i = 0,784$, $1,126$ и $0,141$ соответственно), сорт Еля-ты имеет самый высокий показатель стабильности ($b_i = 2,860$). Пластичность образцов была низкой (12 образцов), средней (11 образцов) и высокой (7 образцов). Пластичность перспективных образцов к-53336 и к-53337 и сорта Спутник – низкая, сорта Еля-ты – средняя, сорта Надежда – высокая.

Заключение. Результаты исследований показали довольно высокую изменчивость изученной коллекции козлятника восточного по параметру стабильности. Наиболее высокая она у признака, непосредственно связанного с климатическими условиями года – зимостойкости. Изменчивость параметра пластичности высокая (зимостойкость, кустистость и урожайность семян) и очень высокая (высота растений, облиственность и урожайность воздушно-сухой массы).

Изученные образцы достаточно равномерно распределены по группам с низкой, оптимальной и высокой величиной параметра b_i . По всем изученным признакам величина параметра пластичности (S^2_d) у большинства образцов низкая и средняя.

Перспективный образец к-55536, созданный на основе отбора выживших растений из экологического посева 1991 г., имеет оптимальный или слабо отличающийся от оптимального уровень показателя стабильности по признакам «зимостойкость», «облиственность» и «семенная продуктивность» и отзывчив на улучшение условий произрастания по высоте растений, кустистости и урожайности воздушно-сухой массы. Образец к-55537 и стандартный сорт Надежда имеют оптимальный уровень

стабильности по зимостойкости и облиственности, высокую отзывчивость по кустистости и урожайности воздушно-сухой массы и слабо реагируют на изменение условий по признакам «высота растений» и «семенная продуктивность».

Таким образом, натурализовавшиеся образцы к-55536 и к-55537 отличаются высокой кормовой ($19,5 \pm 2,32$ и $19,8 \pm 1,94$ т/га) и семен-

ной ($6,45 \pm 0,371$ и $6,85 \pm 0,282$ ц/га) продуктивностью, стабильностью показателя «урожайность семян» и отзывчивостью на улучшение условий выращивания по урожайности воздушно-сухой массы. Данное сочетание признаков позволяет возделывать сорта, формируемые на их основе, в более благоприятных для земледелия регионах. Эти образцы – ценный материал для селекции.

Список литературы

1. Кадыров М. А., Греб С. И., Батура Ф. Н. Некоторые аспекты селекции сортов с широкой агроэкологической адаптацией. Селекция и семеноводство. 1984;(7):8-11.
2. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966;6(1):36-40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183x000600010011x>
3. Finlay K. W., Wilkinson G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding program Australian Journal Agricultural Research. 1963;14(6):742-754. DOI: <https://doi.org/10.1071/ar9630742>
4. Пакудин В. З. Методы оценки экологической пластичности сортов сельскохозяйственных растений. Проблемы отбора и оценки селекционного материала. Киев: Наукова думка, 1980. С. 93-100.
5. Комаров Н. М., Дубина В. В. Использование генетико-статистических подходов в экологическом обосновании сортимента. Селекция и семеноводство. 1996;(1-2):10-15.
6. Сапега В. А. Урожайность и экологическая пластичность зерновых культур в Северном Казахстане. Аграрная наука. 1997;(2):20-21.
7. Jowett D. Yield stability parameters for sorghum in East Africa. Crop Science. 1972;12(3):314-317. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1972.0011183x001200030017x>
8. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. Crop Science. 1981;21(6):943-946. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x>
9. Кундик Т. М. Пластичность и стабильность урожайности сортов люпина желтого. Селекция и семеноводство полевых культур: юбил. сб. научн. тр. Воронеж: Воронежский ГАУ, 2007. Вып. 2. С. 93-96.
10. Епифанова И. В. Оценка продуктивности и адаптивности сортообразцов люцерны в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(2):77-81. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-2-77-81>
11. Кочнева М. Б., Дахно О. А. Адаптивный потенциал интродуцированных сортов клевера лугового в Камчатском крае. Дальневосточный аграрный вестник. 2019;(3):45-50. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-13034>
12. Тимошкина О. Ю., Тимошкин О. А. Оценка продуктивности и адаптивности сортообразцов клевера ползучего в условиях лесостепи Среднего Поволжья. Кормопроизводство. 2020;(10):39-43. DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2020.77.43.001>
13. Казарина А. В., Марунова Л. К. Оценка адаптивного потенциала сортов и перспективных линий донника белого однолетнего в условиях Самарского Заволжья. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2019;(11-2(38)):115-119. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11764>
14. Игнатьев С. А., Регидин А. А. Оценка параметров адаптивности коллекционных образцов эспарцета. Зерновое хозяйство России. 2019;(3):53-58. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-63-3-53-58>
15. Михайлова И. В., Ахтулова Е. М. Перспективы возделывания козлятника восточного (*Galega orientalis* Lam.) в условиях Кольского полуострова. Агрохимия. 2013;(7):49-55.

References

1. Kadyrov M. A., Grib S. I., Batur F. N. Some aspects of breeding varieties with broad agroecological adaptation. *Seleksiya i semenovodstvo*. 1984;(7):8-11. (In Russ.).
2. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966;6(1):36-40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183x000600010011x>
3. Finlay K. W., Wilkinson G. N. The analysis of adaptation in a plant breeding program Australian Journal Agricultural Research. 1963;14(6):742-754. DOI: <https://doi.org/10.1071/ar9630742>
4. Pakudin V. Z. Methods for assessing the ecological plasticity of agricultural plant varieties. Problems of selection and evaluation of breeding material. Kiev: *Naukova dumka*, 1980. pp. 93-100.
5. Komarov N. M., Dubina V. V. The use of genetic and statistical approaches in the ecological justification of the assortment. *Seleksiya i semenovodstvo*. 1996;(1-2):10-15. (In Russ.).
6. Sapega V. A. Productivity and ecological plasticity of grain crops in Northern Kazakhstan. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 1997;(2):20-21. (In Russ.).

7. Jowett D. Yield stability parameters for sorghum in East Africa. *Crop Science*. 1972;12(3):314-317. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1972.0011183x001200030017x>
8. Rosielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environment. *Crop Science*. 1981;21(6):943-946. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183x002100060033x>
9. Kundik T. M. Plasticity and stability of yield of varieties of yellow lupine. Breeding and seed production of field crops: Anniversary collection of scientific papers. Voronezh: *Voronezhskiy GAU*, 2007. Iss. 2. pp. 93-96.
10. Epifanova I. V. Assessment of productivity and adaptability of alfalfa cultivars in the conditions of the forest-steppe of the middle Volga region. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(2):77-81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-2-77-81>
11. Kochneva M. B., Dakhno O. A. Adaptive potential of alien varieties of meadow clover in Kamchatsky krai. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2019;(3):45-50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-13034>
12. Timoshkina O. Yu., Timoshkin O. A. Productivity and adaptability of white clover lines in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2020;(10):39-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25685/KRM.2020.77.43.001>
13. Kazarina A. V., Marunova L. K. otsenka adaptivnogo potentsiala sortov i perspektivnykh liniy donnika belogo odnoletnego v usloviyakh Samarskogo Zavolzh'ya. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk* = International Journal of Humanities and Natural Sciences. 2019;(11-2(38)):115-119. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2019-11764>
14. Ignatiev S. A., Regidin A. A. The estimation of adaptability parameters of the collection samples of sainfoin. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(3):53-58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-63-3-53-58>
15. Mikhaylova I. V., Akhtulova E. M. Prospects for cultivating eastern galega (*galega orientalis lam.*) in the kola peninsula. *Agrokhimiya*. 2013;(7):49-55. (In Russ.).

Сведения об авторах

Михайлова Ирина Витальевна, и.о. директора, Полярная опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (Полярная ОС филиал ВИР), ул. Козлова 2, г. Апатиты, Мурманская обл., Российская Федерация, 184209, e-mail: vir.apatity@vir.nw.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-5225>

Хвостова Александра Борисовна, специалист, Полярная опытная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (Полярная ОС филиал ВИР), ул. Козлова 2, г. Апатиты, Мурманская обл., Российская Федерация, 184209, e-mail: vir.apatity@vir.nw.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6537-7621>

✉ **Малышев Леонид Леонидович**, кандидат с.-х. наук, зав. группой генетических ресурсов многолетних кормовых злаков отдела овса, ржи и ячменя, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР)», ул. Большая Морская, 42-44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190037, e-mail: sci_secretary@vir.nw.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>, e-mail: l.malyshev@vir.nw.ru

Information about the authors

Irina V. Mikhailova, Acting Director, Polar Experimental Station Branch of the Federal State Research University Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov (Polar OS branch of VIR), Kozlov str. 2, Apatity, Murmansk region, Russian Federation, 184209, e-mail: vir.apatity@vir.nw.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7517-5225>

Alexandra B. Khvostova, specialist, Polar Experimental Station Branch of the Federal State Research University Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov (Polar OS branch of VIR), Kozlov str. 2, Apatity, Murmansk region, Russian Federation, 184209, e-mail: vir.apatity@vir.nw.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6537-7621>

✉ **Leonid L. Malyshev**, PhD in Agricultural Science, Head of the Group of Genetic Resources of Perennial Fodder Cereals of the Department of Oats, Rye and Barley, Federal Research Center All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov (VIR), Bolshaya Morskaya str., 42-44, St. Petersburg, Russian Federation, 190037, e-mail: sci_secretary@vir.nw.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8595-1336>, e-mail: l.malyshev@vir.nw.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: ПОЛЕВОЕ И ЛУГОВОЕ /
FODDER PRODUCTION: FIELD AND MEADOW<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.351-359>

УДК 633.853.494(470.2)

**Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе Российской Федерации**

© 2022. А. М. Шпанев✉, В. В. Смур

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,

г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Данные о влиянии абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности сельскохозяйственных культур важны для разработки системы управления производственным процессом. Исследования проводили в 2012-2019 гг. на базе агроэкологического стационарного опыта по изучению эффективности длительного применения минеральных удобрений ($N_0P_0K_0$, $N_{65}P_{50}K_{50}$, $N_{100}P_{75}K_{75}$) и интегрированной системы защиты растений. Погодные условия оказались наиболее значимыми среди всех факторов, влияющих на урожайность ярового рапса сорта Оредеж 4 в Северо-Западном регионе Российской Федерации. Повышенную чувствительность к условиям увлажнения и теплообеспеченности растения рапса проявляют в первой половине вегетации. При этом на протяжении большей части периода вегетации культуры и особенно на начальных этапах онтогенеза осадки оказывают положительное ($r = 0,43...0,67$, $p \leq 0,05$), а температура отрицательное воздействие на урожайность рапса ($r = -0,44...-0,50$, $p \leq 0,05$). Интегрированная система защиты растений имела большее значение в формировании урожая ярового рапса (19,8 %), чем внесение минеральных удобрений (2,2 %). По результатам проведения всех необходимых защитных мероприятий усредненная за годы исследований величина сохраненного урожая ярового рапса составляла 1,04 т/га (90 %), в годы массового размножения капустной моли достигала 0,96 т/га (213 %), сильного развития альтернариоза – 1,46 т/га (248 %). В отсутствии защитных мероприятий внесение удобрений, как и в целом возделывание ярового рапса, становится нецелесообразным. Совместное применение минеральных удобрений и средств защиты растений на посевах ярового рапса обеспечивало формирование урожайности семян 1,97-2,13 т/га, что превосходило контроль ($N_0P_0K_0$, без средств защиты) на 1,06-1,22 т/га (117-134 %).

Ключевые слова: *Brassica napus* L., погодные условия, фитосанитарное состояние, минеральные удобрения, интегрированная система защиты растений

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (тема № FGEG-2022-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шпанев А. М., Смур В. В. Влияние абиотических и антропогенных факторов на формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе Российской Федерации. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):351-359. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.351-359>

Поступила: 04.04.2022

Принята к публикации: 17.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation

© 2022. Alexander M. Shpanev✉, Vasilii V. Smuk

Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

Data on the influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of crop yields are important for developing the system for production process managing. The studies were carried out in 2012-2019 on the basis of agroecological stationary experiment aimed at investigating the effectiveness of long-term use of mineral fertilizers ($N_0P_0K_0$, $N_{65}P_{50}K_{50}$, $N_{100}P_{75}K_{75}$) and an integrated plant protection system. Weather conditions turned out to be the most significant among all factors affecting the yield of spring rapeseed Oredzh 4 in the North-West region of the Russian Federation. Rapeseed plants show increased sensitivity to moisture and heat supply conditions in the first half of the growing season. At the same time, during the most of the growing season of the crop and especially at the initial stages of ontogenesis the rainfall has a positive effect ($r = 0.43...0.67$, $p \leq 0.05$), and temperature has a negative effect on rapeseed yield ($r = -0.44...-0.50$, $p \leq 0.05$). The integrated plant protection system was more important in the formation of the spring rapeseed crop (19.8 %) than the application of mineral fertilizers (2.2 %). According to the results of all the necessary protective measures, the averaged value of the preserved spring rapeseed yield over the years of the research was 1.04 t/ha (90 %), in the years of mass reproduction of the cabbage moth

it reached 0.96 t/ha (213 %), in the years of strong development of *Alternaria* – 1.46 t/ha (248 %). In the absence of protective measures, the application of fertilizers, as well as the cultivation of spring rapeseed in general, becomes impractical. The combined use of mineral fertilizers and plant protection products in spring rapeseed sowings ensured the formation of a seed yield of 1.97-2.13 t/ha, which exceeded the control (NoP₀K₀, without means of protection) by 1.06-1.22 t/ha (117-134 %).

Keywords: *Brassica napus* L., weather conditions, phytosanitary condition, mineral fertilizers, integrated plant protection system

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Agrophysical Research Institute (theme No. FGEG-2022-0007).

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

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

For citations: Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):351-359. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.351-359>

Received: 04.04.2022

Accepted for publication: 17.05.2022

Published online: 23.06.2022

Система управления продукционным процессом основана на знаниях рационального использования абиотических, биотических и антропогенных факторов на формирование урожайности сельскохозяйственных культур. При этом абиотические и биотические факторы воздействуют на агробиоценозы в неуправляемом режиме. Абиотические факторы – это, прежде всего, погодные условия, способствующие или не способствующие реализации потенциала продуктивности культурных растений в конкретном году. Влияние гидро-термических условий вегетационного периода на урожайность семян ярового рапса по литературным данным значительно и составляет 54-67 % [1, 2]. Согласно биологическим особенностям культуры, большое значение имеет выпадение осадков в начальный период роста растений, поскольку рапс проявляет повышенную чувствительность к иссушению верхнего слоя почвы [3]. Избыточное увлажнение в этот период на легких по гранулометрическому составу почвах также неблагоприятно, так как приводит к образованию корки, неравномерности появления всходов и снижению полевой всхожести семян [4].

К числу наиболее действенных антропогенных факторов относятся управление питательным режимом с помощью внесения удобрений и фитосанитарным состоянием посевов посредством проведения защитных мероприятий [5]. Рапс предъявляет повышенные требования к обеспечению основными питательными веществами, что предполагает высокую отзывчивость этой культуры на внесение удобрений. Согласно опубликованным в отечественной и зарубежной литературе данным, внесением минеральных удобрений, в зависимости от условий увлажнения, достигается повышение урожайности ярового рапса на 36-70 % [6, 7].

При этом наилучшие результаты отмечались при применении полного минерального удобрения, доля азота в приросте урожайности рапса составляла 24-34 % [8]. Потери урожая ярового рапса от вредных организмов обычно велики и проведение защитных мероприятий оправдано в абсолютном большинстве случаев. Величина сохраненного урожая от применения средств защиты растений, по литературным данным, составляет 10-53 %, а в годы эпифитотийного развития болезней или массового размножения вредителей значительно больше [9, 10, 11]. При этом защитные мероприятия способствуют повышению эффективности минеральных удобрений, что приводит к еще большему росту продуктивности культуры. За счет совместного применения минеральных удобрений и средств защиты растений, когда проявляется эффект взаимодействия, усиливающий их отдельное влияние, достигается максимальная прибавка урожайности ярового рапса [12]. Далее в порядке снижения значимости при возделывании ярового рапса располагаются такие факторы, как сортовые особенности, сроки и нормы посева культуры [13].

Для Северо-Западного региона РФ в последние годы просматривается общая для всей страны тенденция существенного увеличения посевных площадей ярового рапса [14]. Изучение вопросов эффективного использования природно-климатических особенностей региона и отдельных элементов технологии возделывания является приоритетным и значимым для широкого внедрения культуры и получения высоких урожаев.

Цель исследований – провести анализ результатов многолетнего изучения влияния абиотических (погодные условия) и антропогенных (минеральные удобрения, интегрированная система защиты растений) факторов

на формирование урожайности ярового рапса в Северо-Западном регионе РФ.

Новизна исследований. Определено значение погодных условий, минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений в формировании урожайности ярового рапса на Северо-Западе РФ. Выявлены зависимости урожайности данной культуры от суммы активных температур и количества осадков в разные периоды вегетации ярового рапса. Приведены фактические данные по отдельному и совместному влиянию средств химизации на урожайность и основные элементы структуры урожая ярового рапса.

Материал и методы. Исследования проводили в период 2012-2019 гг. в агроэкологическом стационаре Меньковского филиала Агрофизического научно-исследовательского института (Ленинградская область, Гатчинский район), на полях которого функционирует многоуровневая система полевого экспериментирования, состоящая из длительных стационарных и краткосрочных детализирующих опытов в смежных областях сельскохозяйственной науки [15]. Почва – дерново-слабоподзолистая супесчаная, мощность пахотного слоя – 23 см, рН_{KCl} – 4,6, содержание гумуса (по Тюрину) – 1,9 %, подвижных соединений фосфора и калия (по Кирсанову) – 257 и 92 мг/кг соответственно.

Агроэкологический стационар является длительным фундаментальным опытом и представляет собой 7-польный зернотравяно-пропашной севооборот с классическим для Северо-Западного региона составом и чередованием культур. Севооборот освоен в 1982 г. Предшественником ярового рапса являлся картофель. В изучении находился сорт Ордеж 4, имеющий допуск к возделыванию на территории данного региона. Площадь севооборота – 4,2 га, одного поля – 0,60 га. В период исследований практиковались разные сроки посева – от ранних (первая декада мая) до поздних (третья декада мая). Норма высева составляла 10 кг/га.

На полях севооборота развернута двухфакторная схема опыта по изучению эффективности длительного применения минеральных удобрений (МУ) из расчета планируемой урожайности возделываемых культур ($N_0P_0K_0$, $N_{65}P_{50}K_{50}$, $N_{100}P_{75}K_{75}$) и интегрированной системы защиты растений (ИСЗР). Интегрированная система защиты ярового рапса состояла из протравливания семенного материала, обработок гербицидом до появления всходов

культурных растений, инсектицидами против капустной моли и рапсового цветоеда, фунгицидом при образовании стручков в нижнем ярусе растений в защите от альтернариоза. Площадь делянок с минеральными удобрениями – 600 м² (20 × 30 м), системой защиты растений – 300 м² (20 × 15 м), повторность – 3-кратная.

Наблюдения за ростом и развитием растений ярового рапса и фитосанитарным состоянием посевов проводили на замаркированных постоянных учетных площадках 0,1 м², размещенных в поле согласно схеме опыта, в соответствии с методическими указаниями [16]. Ежегодное их количество составляло 72, т. е. по 12 в каждом из вариантов опыта. С помощью постоянных площадок велся учет урожая и основных элементов его структуры.

Статистическая обработка полученных данных состояла из корреляционного и дисперсионного по схеме двухфакторного опыта анализов, проводимых в программе Statistica 6.0.

Результаты и их обсуждение. Годы исследований значительно различались по погодным условиям (табл. 1). Избыточным увлажнением характеризовался 2012 г., дефицит осадков наблюдался в 2014, 2015 и 2018 гг. Суммарное количество осадков, выпавших за период вегетации ярового рапса в 2013 и 2017 гг., соответствовало среднегодовому уровню (386,5 мм). Сумма активных температур указывает на тенденцию потепления климата в последнее десятилетие. Так, повышенный температурный режим отмечался в 2013, 2015, 2016, 2019 гг. и особенно 2018 г. Значения гидротермического коэффициента на протяжении большинства лет исследований варьировали в пределах 1,0-3,3.

Варьирование урожайности семян ярового рапса по годам в нашем опыте составляло от 0,68 до 2,18 т/га при среднем значении равном 1,43 т/га. В 2016 г. из-за сильных повреждений листового аппарата и соцветий ярового рапса гусеницами капустной моли наблюдалась полная потеря продуктивности растений, чем объясняется отсутствие данных по урожайности в этом году.

Сильная степень варьирования во многом определялась погодными условиями периода вегетации культуры. На долю влияния этого фактора приходилось 29 %, тогда как совокупный вклад абиотических и антропогенных факторов в формирование урожайности ярового рапса составил 67,1 %. Наибольшая величина урожайности была получена в условиях самого

увлажненного 2012 г., что обусловлено биологическими особенностями рапса как влаголюбивой культуры (табл. 1). При этом обозначилась отрицательная связь урожайности рапса с теплообеспеченностью периода вегетации ($r = -0,52$, $p \leq 0,05$), который составлял по срокам от 97 до 123 дней. Более поздний посев

в третьей декаде мая приводил к смещению сроков и удлинению периода созревания, которое проходило в сентябре. При неравномерном созревании, характерном для данной культуры, это означало большие потери урожая на корню в результате растрескивания стручков.

Таблица 1 – Метеорологические условия, урожайность и продолжительность периода вегетации ярового рапса в годы исследований /

Table 1 – Meteorological conditions, yield and duration of the growing season of spring rapeseed in the years of the research

Показатель / Indicator	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Сумма активных температур, °C / Sum of active temperatures, °C	1627	1813	1737	1868	1760	1959	1843
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	538,5	361,6	251,8	186,8	340,5	257,0	380,4
Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient	3,3	2,0	1,4	1,0	1,9	1,3	2,1
Урожайность семян, т/га / Yield of seeds, t/ha	2,18	0,77	1,73	2,05	1,50	1,24	0,68
Период вегетации, дни / Growing season, days	104	97	110	122	123	109	123

Детализированный анализ корреляционной матрицы позволил уточнить определяющее влияние метеоусловий на урожайность ярового рапса в разрезе отдельных периодов развития культуры. Так, отчетливо обозначилось положительное влияние осадков, выпадающих в период от появления всходов до образования розетки листьев, особенно в вариантах с применением минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений (табл. 2). В последующий период развития культуры, ограничивающийся фазой цветения, просматривалась в большинстве случаев отрицательная связь между суммарным количеством осадков и урожайностью ярового рапса ($r = -0,38 \dots -0,75$). Во второй половине вегетации потребность в осадках у растений ярового рапса не была явно выраженной, что подтверждается статистически незначимыми коэффициентами корреляции. Отрицательное влияние температуры на формирование урожайности отмечалось в первой половине вегетации ярового рапса особенно в отсутствии защитных мероприятий на самых ранних этапах онтогенеза. В условиях жаркой засушливой погоды остро сказывались на продуктивности растений и их выживаемости повреждения, наносимые всходам крестоцветными блошками. Сильное отрицательное воздействие высоких температур в период «розетка листьев-цветение» обуслов-

лено формированием габитуса растений, ветвления, высоты и массы, которые имеют определяющее значение для реализации потенциала продуктивности.

Можно отметить положительную связь между значением гидротермического коэффициента и урожайностью рапса в период «всходы-розетка листьев», отрицательную в период «розетка листьев-цветение», а далее в большинстве случаев слабую и положительную.

Влияние погодных условий распространялось на эффекты, связанные с улучшением минерального питания и фитосанитарной обстановки в посевах ярового рапса (табл. 3). Особенно сильным оказалось влияние метеоусловий на эффективность применяемых минеральных удобрений (10,2 %). Вклад интегрированной системы защиты растений (19,8 %) при возделывании ярового рапса оказался значительно более весомым, чем минерального питания (2,2 %). При этом в отдельные годы внесение минеральных удобрений определяло величину сформированной урожайности ярового рапса на 0,3-37,3 %, а проведение защитных мероприятий – на 1,6-59,9 %. Как правило, отмечалось преимущественное влияние одного из этих факторов. Взаимодействие минеральных удобрений и средств защиты растений при влиянии на урожайность рапса достигало в отдельные годы 10 % или снижалось до 0,5 % (табл. 4).

Таблица 2 – Коэффициенты корреляции между урожайностью ярового рапса и погодными условиями в разные периоды развития культуры на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) / Table 2 – Correlation coefficients between the yield of spring rapeseed and weather conditions in different periods of crop development in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

ИСЗР / IPPS	МУ / MF	Сумма активных температур, °C / Sum of active temperatures, °C				Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm				Гидротермический коэффициент / Hydrothermal coefficient			
		В-Р	Р-Ц	Ц-З	С	В-Р	Р-Ц	Ц-З	С	В-Р	Р-Ц	Ц-З	С
Без ИСЗР / Without IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	0,25	-0,49*	-0,05	0,04	0,03	-0,65*	0,07	-0,08	0,01	-0,48*	0,08	-0,05
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	-0,50*	-0,10	0,24	-0,03	0,43*	-0,67*	0,31	0,25	0,56*	-0,70*	0,26	0,27
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	-0,44*	0,05	0,47*	-0,15	0,27	-0,49*	0,34	0,10	0,42*	-0,54*	0,22	0,20
ИСЗР / IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	0,40	-0,74*	-0,34	0,43*	0,15	-0,75*	-0,36	-0,36	0,02	-0,50*	-0,29	-0,44*
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	-0,20	-0,45*	-0,18	-0,09	0,47*	-0,59*	0,29	0,47*	0,51*	-0,50*	0,35	0,44*
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	-0,27	-0,41*	0,26	-0,26	0,67*	-0,38	0,19	0,23	0,74*	-0,27	0,15	0,36

Примечания: ИСЗР – интегрированная система защиты растений, МУ – минеральные удобрения, В-Р – всходы-розетка листьев, Р-Ц – розетка листьев-цветение, Ц-З – цветение-зеленая спелость, С – созревание; *достоверно при $p \leq 0,05$ /

Notes: IPPS – integrated plant protection system, MF – mineral fertilizers, В-Р – shoots-leaf rosette, Р-Ц – rosette of leaves-flowering, Ц-З – flowering-green ripeness, С – maturation; * reliable at $p \leq 0.05$

Таблица 3 – Вклад абиотических и антропогенных факторов в формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) / Table 3 – Contribution of abiotic and anthropogenic factors to the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

Фактор / Factor	Доля, % / Share, %
Погодные условия (Год) / Weather conditions (Year)	29,0*
Минеральные удобрения (МУ) / Mineral fertilizers (MF)	2,2*
Интегрированная система защиты растений (ИСЗР) / Integrated Plant Protection System (IPPS)	19,8*
Взаимодействие Год-МУ / Interactions Year + MF	10,2*
Взаимодействие Год-ИСЗР / Interactions Year + IPPS	3,3*
Взаимодействие МУ-ИСЗР / Interactions MU + IPPS	0,5
Взаимодействие Год-МУ-ИСЗР / Interactions Year + MF + IPPS	2,0*
Повторений / Iteration	0,8
Случайное / Random	32,1*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / * Reliable are $P \geq 0.95$.

Таблица 4 – Вклад средств химизации в формирование урожайности ярового рапса на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) / Table 4 – Contribution of chemicals to the formation of spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

Фактор / Factor	2012 г.	2013 г.	2014 г.	2015 г.	2017 г.	2018 г.	2019 г.
Минеральные удобрения (МУ) / Mineral fertilizers (MF)	37,3*	19,6*	12,0*	13,0*	12,4*	0,3	17,4*
Интегрированная система защиты растений (ИСЗР) / Integrated Plant Protection System (IPPS)	16,1*	51,9*	30,7*	23,4*	59,9*	1,6	47,9*
Взаимодействие МУ – ИСЗР / Interaction MF + IPPS	6,1*	1,8	1,3	0,5	3,4*	6,3*	10,0*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / * Reliable are $P \geq 0.95$.

Использование интегрированной системы защиты растений стабилизировало продуктивность ярового рапса по годам, что подтверждается снижением доли влияния погодных условий в 1,4 раза (табл. 5). Одновременно с этим, за счет улучшения фитосанитарной обстановки, возрастала роль минерального

питания (в 3,3 раза). Этим подтверждается преимущество комплексного применения средств химизации при возделывании ярового рапса на Северо-Западе РФ. Схожие эффекты нами были показаны ранее на картофеле, возделываемом в одном севообороте с яровым рапсом [17].

Таблица 5 – Влияние погодных условий и минерального питания на формирование урожайности ярового рапса на фоне применения интегрированной системы защиты растений (Ленинградская область, 2012-2015, 2017-2019 гг.) /

Table 5 – The influence of weather conditions and mineral nutrition on the formation of spring rapeseed yield against the background of the integrated plant protection system (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

Фактор / Factor	Доля, % / Share, %	
	без ИСЗР / without IPPS	ИСЗР / IPPS
Погодные условия (Год) / Weather conditions (Year)	48,6*	35,0*
Минеральные удобрения (МУ) / Mineral fertilizers (MF)	1,4*	4,6*
Взаимодействие Год-МУ / Interaction Year + MF	13,3*	16,4*
Повторений / Iteration	1,9	1,8
Случайное / Random	34,8*	42,2*

* Достоверные значения при $P \geq 0,95$ / * Reliable are $P \geq 0,95$.

Совместное применение средств химизации действительно приводило к значительному росту урожайности ярового рапса. По усредненным за весь период исследований данным, прибавка урожайности семян рапса под влиянием минеральных удобрений и интегрированной системы защиты растений, с учетом эффекта взаимодействия, составила 1,06-1,22 т/га, или 117-134 %. При этом густота продуктивных растений на момент

уборки урожая повышалась на 25-37 %, масса семян с одного растения – на 107-111 %, тогда как для показателя «масса 1000 семян» отмечалась тенденция к снижению (табл. 6). Количество стручков с растения увеличивалось под действием факторов химизации на 150-203 %, усредненная высота и сухая масса одного растения – на 36-43 % и 138-162 % соответственно на средне- и высокоудобренном вариантах.

Таблица 6 – Влияние средств химизации на урожайность и основные элементы структуры урожая ярового рапса на Северо-Западе РФ (Ленинградская область, МФ АФИ, 2012-2015, 2017-2019 гг.) /

Table 6 – The influence of chemicalization agents on the yield and the main elements of the structure of the spring rapeseed yield in the North-West of the Russian Federation (Leningrad Region, 2012-2015, 2017-2019)

ИСЗР / IPPS	МУ / MF	Урожайность, т/га / Yield, t/ha	Густота продуктивного стеблестоя, экз/м ² / The density of the productive stem, pcs/m ²	Масса семян с 1 растения, г / Seed weight per 1 plant, g	Масса 1000 семян, г / Weight of 1000 seeds, g
Без ИСЗР / Without IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	0,91	126	0,73	3,5
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	1,19	169	0,77	3,0
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	1,04	144	0,75	2,7
ИСЗР / IPPS	N ₀ P ₀ K ₀	1,65	153	1,40	3,4
	N ₆₅ P ₅₀ K ₅₀	2,13	172	1,54	3,3
	N ₁₀₀ P ₇₅ K ₇₅	1,97	158	1,51	3,2
НСР ₀₅ (ИСЗР) / LSD ₀₅ (IPPS)		0,12	1,28	0,11	0,09
НСР ₀₅ (МУ) / LSD ₀₅ (MF)		0,16	1,16	0,14	0,12
НСР ₀₅ (ИСЗР МУ) / LSD ₀₅ (IPPS MF)		0,23	2,03	0,20	0,16

Сильное влияние на урожайность ярового рапса интегрированной системы защиты растений обусловлено высокой вредоносностью отдельных вредных организмов в условиях Северо-Запада России. Самая высокая отдача от реализуемой в нашем опыте системы интегрированной защиты ярового рапса отмечалась в годы массового размножения капустной моли (0,96 т/га – 213 %) и эпифитотийного развития альтернариоза (1,46 т/га – 248 %). Величина сохраненного урожая ярового рапса при проведении всего комплекса защитных мероприятий изменялась в пределах 0,74-0,94 т/га, или 79-89 % от фактической урожайности культуры в варианте без защиты растений, равной 0,91-1,19 т/га.

Среднепогодная прибавка урожая рапса от внесения минеральных удобрений составила 0,13-0,28 т/га (14-31 %). При этом внесение средних доз минеральных удобрений обеспечивало формирование большей урожайности, чем высоких, которые, согласно литературным данным, действительно способны оказывать негативное влияние на полевую всхожесть семян, рост и развитие растений рапса [18]. Разница по урожайности между соответствующими вариантами опыта в отсутствии защитных мероприятий составила 0,15 т/га, на фоне интегрированной системы защиты – 0,16 т/га. В 2015 и 2017 гг. положительные эффекты, связанные с действием удобрений, нивелировались сильным поражением посевов ярового рапса альтернариозом. Под влиянием минеральных удобрений отмечалось увеличение вегетативной массы культурных растений, удлинение периода

вегетации и сроков созревания, что усиливало поражение альтернариозом и снижение продуктивности рапса от данного заболевания. При этом фунгицидные обработки ограничивали проявление альтернариоза на растениях рапса, что позволяло получить ожидаемые эффекты от применения удобрений. Иная ситуация наблюдалась в 2013 г. при массовом размножении капустной моли, когда испытывающие дефицит минерального питания маломощные растения рапса значительно сильнее повреждались гусеницами данного вредителя. Хозяйственная эффективность применения минеральных удобрений на делянках, где было предусмотрено проведение защитных мероприятий, в том числе против гусениц капустной моли, составила 0,73 т/га, или 79 %.

Выводы. 1. Наиболее сильное влияние на формирование урожая ярового рапса оказывают погодные условия, связанные с эффектами от применения минеральных удобрений и средств защиты растений. При этом осадки оказывают положительное, а температура отрицательное воздействие на урожайность рапса на протяжении большей части периода вегетации культуры, особенно на начальных этапах онтогенеза.

2. Суммарный вклад антропогенных факторов (минеральное питание и интегрированная система защиты растений) оценивается в 22 %, при их неравнозначном долевом участии в формировании урожайности ярового рапса. Комплексное влияние этих двух факторов при их взаимодействии выражалось повышением урожайности рапса на 1,06-1,22 т/га, что от фактической урожайности на неудобренном и незащищаемом контроле (0,91 т/га) составляло 117-134 %.

Список литературы

1. Фесенко М. А., Шпанев А. М. Вклад факторов интенсификации земледелия и условий вегетации в формирование урожайности культур полевого севооборота. Аграрная Россия. 2015;(10):2-6. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24335905>
2. Цехмейструк Н. Г., Глубокий А. Н., Жижка Н. Г. Урожайность рапса ярового в зависимости от нормы высева и климатических условий зоны выращивания. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2017;(2):87-91.
3. Гущина В. А., Лыкова А. С. Изменение урожайности и качества маслосемян ярового рапса в зависимости от приемов возделывания и погодных условий. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2011;(6(80)):9-12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16346053>
4. Вафина Э. Ф., Шатыхов И. Ш., Исламова Ч. М. Сроки посева и нормы высева в технологии возделывания ярового рапса на семена. Пермский аграрный вестник. 2018;(3(23)):42-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415060>
5. Voropaev V. V., Shpanev A. M., Lekomtsev P. V., Ilyinskaya Ya. A. Remote means and methods of definition of homogeneous technological areas for precision management of mineral nutrition and phytosanitary condition of agrocenosis: International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Sophia, 2019. pp. 609-616.
6. Лапа В. В., Ивахненко Н. Н., Лопух М. С., Кулеш О. Г., Грачева А. А., Шумак С. М., Ломонос М. М. Качество семян ярового рапса в зависимости от систем удобрения. Почвоведение и агрохимия. 2012;(2(49)):109-121. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36159274>

7. Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние минеральных удобрений на элементы структуры и урожайность семян ярового рапса в условиях Красноярской лесостепи. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(7):41-43. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10710>
8. Хайруллин А. М., Багаутдинов Ф. Я., Гайфуллин Р. Р., Валитов А. В., Ахияров Б. Г. Влияние форм азотных удобрений на урожайность и биохимический состав семян рапса ярового. Пермский аграрный вестник. 2019;(2(26)):101-109. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40481945>
9. Гущина В. А., Агапкин Н. Д., Жеряков Е. В. Влияние пестицидов на урожайность и качество маслосемян ярового рапса. Нива Поволжья. 2008;(3(8)):5-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11530611>
10. Маковеева Н. Н. Продуктивность и качество семян ярового рапса при использовании средств защиты. Аграрный вестник Урала. 2008;(4(46)):58-60. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9956950>
11. Виноградов Д. В., Балабко П. Н., Жулин А. В. Эффективность химической защиты ярового рапса в Рязанской области. Агро XXI. 2010;(1-3):9-11. Режим доступа: <https://www.agroxxi.ru/journal/20100103/20100103003.pdf>
12. Байкалова Р. П., Бобровский А. В., Крючков А. А. Влияние минеральных удобрений и средств защиты растений на элементы структуры и урожайность ярового рапса. Вестник КрасГАУ. 2020;(3(156)):3-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42844535>
13. Курбангалиев Р. Н., Богатырева А. С., Акманаев Э. Д. Влияние сроков и норм высевы на урожайность сортов ярового рапса в Среднем Предуралье. Пермский аграрный вестник. 2018;(1(21)):64-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664916>
14. Пугачев П. М. Рапс 2019: итоги, реалии, перспективы. Комбикорма. 2020;(3):2-4.
15. Шпанев А. М. Экспериментальная база для дистанционного зондирования фитосанитарного состояния агроэкосистем на Северо-Западе РФ. Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019;16 (3):61-68. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39147375>
16. Зубков А. Ф. Методические указания по сбору полевой биоценологической информации с целью оценки вредоносности комплекса вредных организмов. Л.: ВИЗР, 1978. 18 с.
17. Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of potato yield. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2021: E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2021:01041. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46781169>
18. Устарханова Э. Г., Пенчуков В. М. Урожайность ярового рапса на черноземе выщелоченном в условиях неустойчивого увлажнения Краснодарского края. Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур. 2007;(2(137)):104-106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12415351>

References

1. Fesenko M. A., Shpanev A. M. Contribution of factors of intensification of agriculture and terms of vegetation to forming of the productivity of cultures of the field crop rotation. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*. 2015;(10):2-6. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24335905>
2. Tsekhmeystruk N. G., Glubokiy A. N., Zhizhka N. G. Productivity of spring rapeseed depending on the seeding rate and climatic conditions of the growing zone. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2017;(2):87-91. (In Belarus).
3. Gushchina V. A., Lykova A. S. Change in yield and quality of spring rapeseed oilseeds depending on cultivation methods and weather conditions. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2011;(6(80)):9-12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16346053>
4. Vafina E. F., Shatykhov I. Sh., Islamova Ch. M. Seeding time and rate in the technology of spring rape cultivation for seeds. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2018;(3(23)):42-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36415060>
5. Voropaev V. V., Shpanev A. M., Lekomtsev P. V., Ilyinskaya Ya. A. Remote means and methods of definition of homogeneous technological areas for precision management of mineral nutrition and phytosanitary condition of agrocenosis: International Multidisciplinary Scientific GeoConference SGEM. Sophia, 2019. pp. 609-616.
6. Lapa V. V., Ivakhnenko N. N., Lopukh M. S., Kulesh O. G., Gracheva A. A., Shumak S. M., Lomonos M. M. Spring rapeseed quality in dependence on fertilizer system. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2012;(2(49)):109-121. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36159274>
7. Bobrovskiy A. V., Kryuchkov A. A. Effects of mineral fertilisers on the structure and yield of spring rape-seed crops under the conditions of Krasnoyarsk forest-steppe. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(7):41-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10710>
8. Khayrullin A. M., Bagautdinov F. Ya., Gayfullin R. R., Valitov A. V., Akhiyarov B. G. Influence of the nitrogen fertilizers forms on yield and biochemical composition of the spring rape seeds. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2019;(2(26)):101-109. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=40481945>

9. Gushchina V. A., Agapkin N. D., Zheryakov E. V. Influence of pesticides on the yield and quality of spring rapeseed oilseeds. *Niva Povolzh'ya* = Volga Region Farmland. 2008;(3(8)):5-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11530611>
10. Makoveeva N. N. Efficiency and quality of seeds summer rapeseed at use of means of protection. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2008;(4(46)):58-60. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9956950>
11. Vinogradov D. V., Balabko P. N., Zhulin A. V. The efficiency of chemical protection of summer rape in the Ryazan region. *Agro XXI*. 2010;(1-3):9-11. (In Russ.). URL: <https://www.agroxxi.ru/journal/20100103/20100103003.pdf>
12. Baykalova R. P., Bobrovskiy A. V., Kryuchkov A. A. The influence of mineral fertilizers and plant protection means on the structure elements and spring rapeseed productivity. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2020;(3(156)):3-10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42844535>
13. Kurbangaliev R. N., Bogatyreva A. S., Akmanaev E. D. The influence of sowing dates and rates on the yield capacity of spring rape varieties in the middle Preduralie. *Permskiy agrarnyy vestnik* = Perm Agrarian Journal. 2018;(1(21)):64-69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32664916>
14. Pugachev P. M. Rapeseed 2019: results, realities, prospects. *Kombikorma*. 2020;(3):2-4. (In Russ.).
15. Shpanev A. M. Experimental basis for remote sensing of phytosanitary condition of agroecosystems in the north-west of the Russian Federation. *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*. 2019;16 (3):61-68. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39147375>
16. Zubkov A. F. Guidelines for the collection of field biocenological information in order to assess the harmfulness of a complex of harmful organisms. Leningrad: VIZR, 1978. 18 p.
17. Shpanev A. M., Smuk V. V. The influence of abiotic and anthropogenic factors on the formation of potato yield. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2021: E3S Web of Conferences. EDP Sciences. 2021:01041. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46781169>
18. Ustarkhanova E. G., Penchukov V. M. Productivity of spring rapeseed on leached chernozem in conditions of unsteady moistening in Krasnodar region. *Maslichnye kul'tury. Nauchno-tehnicheskiiy byulleten' Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta maslichnykh kul'tur* = Oil crops. Scientific and technical Bulletin of VNIIMK. 2007;(2(137)):104-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=12415351>

Сведения об авторах

✉ **Шпанев Александр Михайлович**, доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории опытного дела, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>, e-mail: ashpanev@mail.ru

Смук Василий Васильевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4763-9082>

Information about the authors

✉ **Alexandr M. Shpanev**, DSc in Biology, chief researcher, the Laboratory of Experimental Work, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4346-318X>, e-mail: ashpanev@mail.ru

Vasiliy V. Smuk, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Experimental Work, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: office@agrophys.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4763-9082>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.360-368>

УДК 631.62

Экологические режимы почв Новгородской области, осушаемых открытым дренажем© 2022. О. В. Балун✉, Е. П. Шкодина, В. А. Яковлева, С. Ю. Жукова
ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр
Российской академии наук», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В природно-климатических условиях Новгородской области были исследованы экологические режимы земель, осушаемых различными конструкциями открытого дренажа: каналы через 70 м (контроль), ложбины стока в сочетании с полосами возделывания, рекультивации, закрытым дренажем. В процессе эксплуатации (1992-2021 гг.) конструкций открытого дренажа произошли изменения агрохимического состояния почв: обменная кислотность снизилась; содержание гумуса увеличилось на 2-3 %, за исключением варианта сочетания ложбин с полосой рекультивации (уменьшение на 1,5 %); содержание подвижного фосфора и калия уменьшилось. Формирование режимов грунтовых вод и запасов влаги на осушительных системах зависит от метеорологических условий, которые в последние 5 лет отличались большим разнообразием: от слабо засушливых (2020 г., ГТК = 1,1) до избыточно увлажненных (2017 г., ГТК = 2,65). Системы ложбин стока в сочетании с полосой рекультивации обеспечили самый низкий уровень грунтовых вод, при этом в экстремально влажный год они не поднимались в пахотный горизонт. Наиболее благоприятный режим влажности корнеобитаемого слоя почвы в избыточно влажном 2017 г. и последующие годы отмечен на системах ложбин стока с закрытым дренажем в сочетании с полосами рекультивации. В засушливые периоды, которыми обычно являются июнь-июль, на опытных системах ложбин стока в сочетании с полосами возделывания и рекультивации наблюдали недостаток влаги в корнеобитаемом слое почвы. Наиболее острый дефицит влаги в эти периоды (0,45ПВ) отмечали на системах сочетания ложбин стока с полосами возделывания. Наиболее благоприятный режим влажности почвы (0,65-0,85ПВ) был в варианте сочетания ложбин с закрытым дренажем и полосой рекультивации. Сформировавшиеся новые экологические режимы осушаемых ложбинно-полосовым способом почв оказали существенное влияние на урожайность сена многолетних злаковых трав (тимофеевка луговая, овсяница луговая). Прибавка урожая по сравнению с контролем в среднем за 5 лет составила 0,3-0,6 т/га.

Ключевые слова: уровень грунтовых вод, влажность почвы, каналы, ложбины стока, полосование**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (тема FFZF-2022-0010, рег. №НИОКР 122041100104-6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Балун О. В., Шкодина Е. П., Яковлева В. А., Жукова С. Ю. Экологические режимы почв Новгородской области, осушаемых открытым дренажем. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):360-368. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.360-368>

Поступила: 21.03.2022

Принята к публикации: 25.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Ecological regimes of soils of the Novgorod region drained by open drainage

© 2022. Olga V. Balun✉, Elena P. Shkodina, Valentina A. Yakovleva, Svetlana Yu. Zhukova

St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences,
St. Petersburg, Russian Federation

In the natural and climatic conditions of the Novgorod region, the ecological regimes of lands drained by various open drainage structures were studied: channels through 70 m (control), runoff hollows in combination with the strips of cultivation, reclamation, and closed drainage. During the operation (1992-2021) of open drainage structures, the agrochemical state of soils changed: the exchange acidity decreased; the humus content increased by 2-3 %, with the exception of a combination of hollows with a reclamation strip (a decrease of 1.5 %); the content of mobile phosphorus and potassium decreased. The formation of groundwater regimes and moisture reserves on drainage systems depends on meteorological conditions, which in the last 5 years have been very diverse: from slightly arid (2020, HTC = 1.1) to excessively moist (2017, HTC = 2.65). The systems of runoff hollows in combination with the reclamation strip provided the lowest groundwater level, while in an extremely wet year they did not rise into the arable horizon. The most favorable moisture regime of the root-inhabited soil layer in excessively humid 2017 and subsequent years was noted on systems of runoff hollows with closed

*drainage in combination with reclamation strips. During dry periods, which are usually June-July, a lack of moisture in the root layer of the soil was observed on experimental systems of runoff hollows in combination with cultivation and reclamation strips. The most acute moisture deficiency in these periods (0.45 full capacity) was noted on systems combining runoff hollows with cultivation strips. The most favorable soil moisture regime (0.65-0.85 full capacity) was in the combination of hollows with closed drainage and a reclamation strip. The formed new ecological regimes of the soils drained by the hollow-strip method had a significant impact on the hay yield of perennial grasses (*Phleum pratense*, *Festuca pratensis*). The increase in yield compared to the control averaged 0.3-0.6 t/ha over 5 years.*

Keywords: groundwater level, soil moisture, channels, runoff hollows, cultivation strip, recultivation strip

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FFZF-2022-0010).

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

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

For citation: Balun O. V., Shkodina E. P., Yakovleva V. A., Zhukova S.Y. Ecological Regimes of soils of the Novgorod region drained by open drainage. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):360-368. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.360-368>

Received: 21.03.2022

Accepted for publication: 25.05.2023

Published online: 23.06.2022

Новгородская область расположена на северо-западе Русской равнины. Область относится к зоне избыточного увлажнения, что приводит в условиях равнинного рельефа и тяжелых подстилающих грунтов к заболачиванию земель и росту болот [1]. В настоящее время переувлажненные сельхозугодья составляют 44 %, а заболоченные – 15 % [2]. Поэтому без проведения мелиоративных мероприятий невозможно повышение их эффективного плодородия и получение стабильных урожаев [3, 4]. Мелиорация также является радикальным средством снижения агроклиматических рисков в условиях изменения климата в 3,5 и более раз [5]. Мелиорация сельскохозяйственных земель ведет к изменению экологических режимов, которые часто бывают необратимыми. Под воздействием мелиорации начинают формироваться новые экологические режимы: режим грунтовых вод [6, 7], водно-воздушный режим [8], питательный режим [9, 10, 11] и т. п. Проведенные исследования экологических режимов в почвенно-климатических условиях Тюменской области позволили установить решающую роль в повышении урожайности трав питательного режима [12]. Китайские ученые получили положительное влияние долгосрочной мелиорации на качество почвы в сельскохозяйственных мелиорированных прибрежных засоленных почвах Восточного Китая [13]. Исследования деградированных мелиорируемых почв на Юго-Западе Китая показали снижение количества питательных веществ в верхнем 20-сантиметровом слое и увеличение их в слое 40-60 см [14]. Исследователями Белоруссии приводятся данные об уменьшении содержания карбо-

натов кальция и магния в пахотном слое в результате длительного использования осушенных почв легкого гранулометрического состава по сравнению с недренированным участком [15].

Цель исследований – получение новых знаний о формировании экологических режимов почв под влиянием различных конструкций открытого дренажа.

Новизна исследований. Впервые определены экологические режимы земель, осушаемых различными конструкциями открытого дренажа: каналами через 70 м, ложбинами в сочетании с полосами возделывания, рекультивации и закрытым дренажем.

Материал и методы. Исследования по формированию экологических режимов почв проводили на опытно-производственном участке, осушаемом ложбинами стока в сочетании с полосованием. Ложбина стока представляет собой искусственно выполненную выемку треугольной формы глубиной 0,3-0,5 м с пологими откосами, проходимыми для сельхозтехники. Полосование – чередование полос возделывания с увеличенным гумусовым слоем с полосами рекультивации с уменьшенным гумусовым слоем. При этом ширина полос возделывания составляет 57-60 м, полос рекультивации – 20-25 м. Сочетание полос возделывания с полосами рекультивации происходит посредством ложбин стока. Ложбина с дренажем представляет собой ложбину стока, по дну которой устроен бесполостный дренаж, представляющий собой траншею глубиной 70 см, засыпанную хорошо фильтрующей песчано-гравийной смесью. Длина ложбин 100-120 м, заложение откосов – 1:10, уклон 0,001.

В геоморфологическом отношении участок представляет собой пологоволнистую озерно-ледниковую равнину, ограниченную с запада и юго-запада р. Веряжкой. Территория участка сложена с поверхности преимущественно грунтами тяжелого гранулометрического состава (пахотный горизонт – глина легкая, подпахотный – глина тяжелая), почвы – дерново-подзолистые. В гидрогеологическом отношении площадь характеризуется развитием и распространением сезонных почвенных вод. Формирование этих вод происходит в микропонижениях рельефа, в рыхлом почвенном слое за счет инфильтрации атмосферных осадков и талых вод. Наибольшее распространение эти воды получают в весенний период и период обильных дождей.

Схема опыта:

Вариант 1. Каналы через 70 м – контроль.

Вариант 2. Ложбины в сочетании с полосой рекультивации.

Вариант 3. Ложбины в сочетании с полосой возделывания.

Вариант 4. Ложбины с дренажем в сочетании с полосой рекультивации.

На участках возделывали многолетние злаковые травы: тимофеевка луговая и овсяница луговая.

Агрохимические показатели почвы определяли следующими методами: значение pH – по ГОСТ 26483-85; массовая доля подвижных соединений фосфора (P_2O_5) и калия (K_2O) – по ГОСТ 26207-91 и ГОСТ Р 54650-2011; массовая доля органического вещества – по ГОСТ 26213-91 п.1.

Режим грунтовых вод и влажности почвы определяли по методике СевНИИГиМ¹. Статистическую обработку данных проводили с использованием корреляционного и регрессионного анализов².

Результаты и их обсуждение. Строительство мелиоративных объектов ведет к нарушению верхнего корнеобитаемого слоя, что сказывается на уровне потенциального плодородия. В процессе эксплуатации осушительных систем под воздействием нового водно-воздушного режима изменяется питательный режим.

Опытный участок построен в 1992 году. В течение 30 лет его эксплуатации велись наблюдения за агрохимическим составом почв (рис. 1).

В первый год после строительства опытного участка почву можно характеризовать как среднекислую со средним содержанием гумуса, повышенной обеспеченностью подвижным фосфором и высокой обеспеченностью подвижным калием. В процессе эксплуатации осушаемых участков изменения агрохимических показателей почвы носили не только временной характер, но и зависели от конструктивных особенностей осушительной системы.

Обменная кислотность почвы во всех опытных вариантах с течением времени уменьшалась и к 2001 году почва перешла в категорию слабокислых, к 2021 году кислотность почвы в контроле и 3 варианте продолжала снижаться, в вариантах 2, 4 – возросла и почвы приобрели среднекислую реакцию.

Содержание гумуса в варианте сочетания ложбин с полосой рекультивации с течением времени неизменно уменьшалось и в 2021 году перешло в категорию низкой обеспеченности, тогда как на остальных участках обеспеченность почвы гумусом постоянно увеличивалась, и к 2021 году стала повышенной.

Содержание подвижного фосфора к 2001 году резко уменьшилось до средней и низкой категорий обеспеченности. К 2021 году содержание фосфора в почве в вариантах ложбин в сочетании с полосой возделывания и рекультивации увеличилось в 2 раза и перешло из категории низкой обеспеченности в категорию средней. В контроле содержание фосфора превысило первоначальный уровень на 19 %, в варианте ложбин с дренажем в сочетании с полосой рекультивации продолжилось его устойчивое падение до критических значений – 2,6 мг/100 г почвы.

Обеспеченность подвижным калием к 2001 году снизилась во всех вариантах до категории «повышенная». В последующее 20-летие содержание калия осталось на этом же уровне.

Формирование новых режимов грунтовых вод и запасов влаги на осушительных системах зависит от метеорологических условий. За последние 5 лет обеспеченность осадками изменялась от 1 % (2017 г.) до 55 % (2018 г.).

¹Методические указания по постановке и проведению опытов на осушительных системах. Л., 1983. С. 54-69, 84-103.

²Методические указания по статистической обработке экспериментальных данных в мелиорации и почвоведении. Л., 1977. С. 166-222.

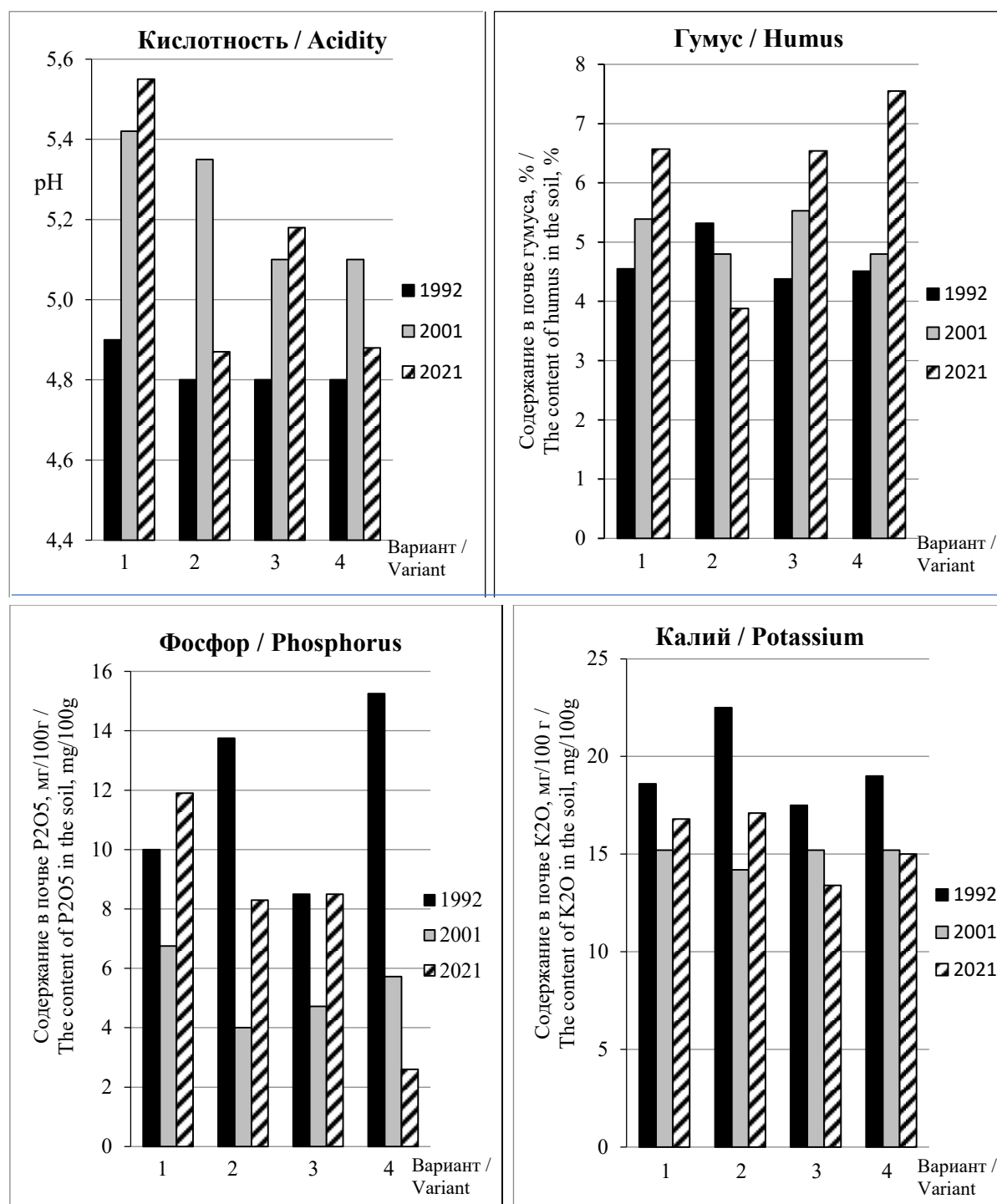


Рис. 1. Изменения агрохимических показателей почвы под воздействием вариантов осушения: 1 – каналы через 70 м (контроль), 2 – ложбины в сочетании с полосой рекультивации, 3 – ложбины в сочетании с полосой возделывания, 4 – ложбины с дренажем в сочетании с полосой рекультивации /

Fig. 1. Changes in agrochemical parameters of the soil under the influence of drainage variants: 1 – channels through 70 m (control), 2 – hollows in combination with a reclamation strip, 3 – hollows in combination with a cultivation strip, 4 – hollows with drainage in combination with a reclamation strip

Годовая температура в среднем на 2 °C превысила норму. При этом сумма температур выше 5 °C превысила норму на 145 °C, а сумма температур выше 10 °C оказалась ниже нормы на 67 °C. Годовая сумма осадков в 2018 и 2020 гг.

была близка к норме, а в остальные годы – значительно ее превышала. Слабо засушливым был 2020 г. (ГТК = 1,1), оптимально влажным – 2018 г. (ГТК = 1,37), остальные три года были избыточно влажными (ГТК = 1,76-2,65) (табл. 1).

Таблица 1 – Метеорологические условия периода наблюдений /
 Table 1 – Meteorological conditions of the observation period

Год / Year	Метеопараметр / Weather parameter						
	годовая сумма осадков, мм / annual precipitation, mm	среднегодовая температура, °C / average annual temperature, °C	сумма осадков за вегетационный период ($t > 5^{\circ}\text{C}$) / amount of precipitation during the growing season ($t > 5^{\circ}\text{C}$)	сумма температур более 5°C / the sum of temperatures greater than 5°C	сумма осадков за период с $t > 10^{\circ}\text{C}$ / the amount of precipi- tation for a period with temperatures above 10°C	сумма температур более 10°C / the sum of temperatures greater than 10°C	ГТК / Hydrothermal coefficient
2017	885	5,8	625	2265	481	1813	2,65
2018	543	6,1	375	2361	274	2001	1,37
2019	821	6,8	489	2637	392	2232	1,76
2020	587	7,7	333	2572	253	2305	1,10
2021	817	5,8	563	2446	404	2092	1,93
Среднее / Average	731	6,4	477	2456	361	2089	1,76
Норма / Norm	550	4,4	352	2311	301	2156	1,40

Самым влажным за рассматриваемый период наблюдений сложился 2017 год, в котором в течение лета выпала двойная норма осадков. Опытные системы открытого дренажа работали в крайне тяжелых условиях по отводу избыточной влаги с целью снижения уровня грунтовых вод (УГВ). Самый низкий УГВ обеспечили системы ложбин стока в сочетании с полосой рекультивации: в течение всего вегетационного периода грунтовые воды в данном варианте не поднимались в пахотный горизонт. Самый высокий УГВ был отмечен в контроле, где грунтовые воды почти весь сезон находились в пахотном горизонте. В 2018 году, когда количество выпавших осадков соответствовало норме, УГВ наблюдался в пахотном горизонте только в начале вегетационного периода и только в контроле. А в 2019 году во всех опытных вариантах УГВ находился ниже 40 см от поверхности земли. В последние 2 года грунтовые воды в пахотном горизонте в начале сезона были отмечены во всех вариантах, кроме варианта сочетания ложбин стока с закрытым дренажем. Таким образом, за период наблюдений наиболее благоприятный для растений режим грунтовых вод был обеспечен системами ложбин стока с закрытым дренажем (рис. 2).

Режим грунтовых вод определяет динамику запасов влаги корнеобитаемого слоя почвы. Высокий уровень стояния грунтовых вод в 2017 году вызвал переувлажнение корнеобитаемого слоя почвы в течение всего сезона в варианте сочетания ложбин стока с полосой возделывания. Более благоприятный режим влажности обеспечили системы

ложбин стока в сочетании с полосой рекультивации (рис. 3).

Начало сезона 2018 года характеризовалось самой высокой влажностью за весь период наблюдений. Это связано с очень влажным предшествующим годом, обеспечившим высокий уровень грунтовых вод в осенне-зимний период и большим количеством осадков в апреле 2018 года (почти две нормы).

Самая высокая влажность в течение всего периода исследований наблюдалась в контроле. В засушливые периоды, которыми обычно являются июнь-июль, на опытных системах сочетания ложбин с полосами возделывания и рекультивации (варианты 2, 3) наблюдался недостаток влаги в корнеобитаемом слое почвы. Наиболее острый недостаток влаги в эти периоды (0,45 ПВ) был отмечен на системах сочетания ложбин стока с полосами возделывания. Наиболее благоприятный режим влажности почвы (0,65-0,85 ПВ) отмечен в варианте сочетания ложбин с закрытым дренажем и полосой рекультивации.

Важным показателем эффективности функционирования мелиоративной системы является урожайность выращиваемых культур. На опытных системах все годы выращивались многолетние травы. Учет урожая проводили в основном в конце июня. Поэтому особое влияние на урожайность сена многолетних трав оказывали погодные условия мая и июня в совокупности. Во влажный 2017 год, когда за май-июнь выпало 1,4 нормы осадков и ГТК составил 1,95, максимальная урожайность была отмечена на системах сочетания ложбин стока с полосами возделывания (табл. 2).

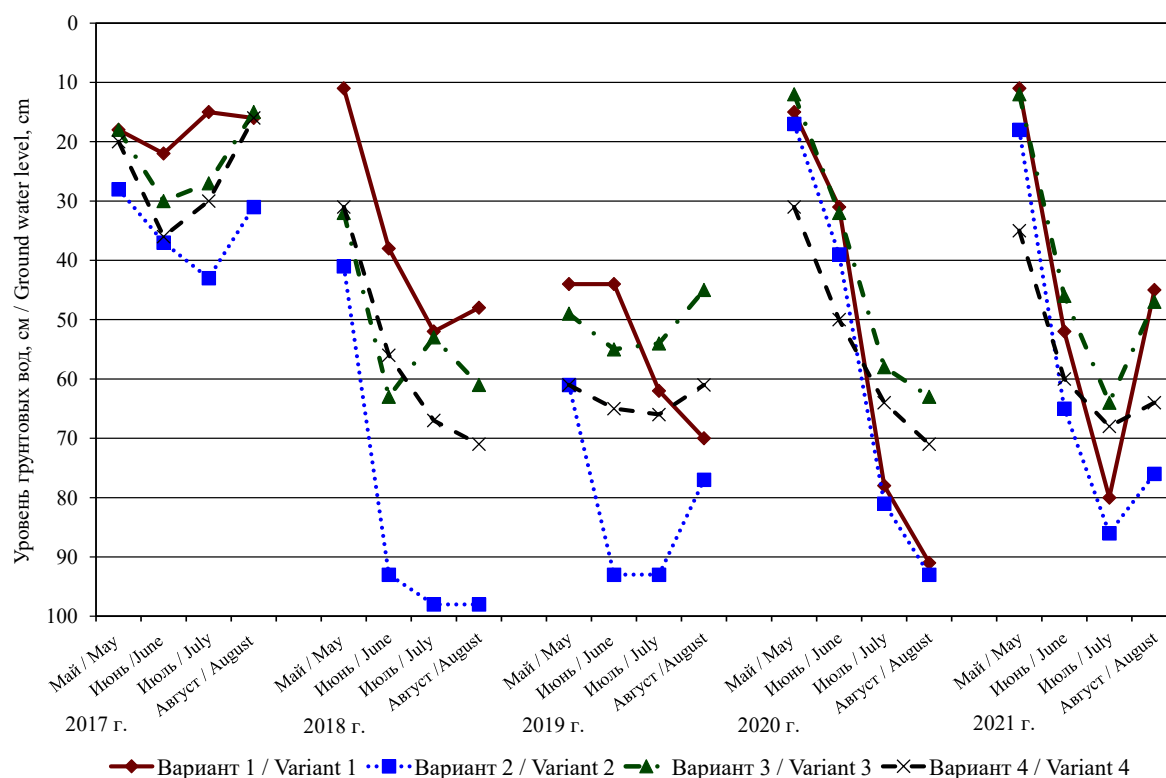


Рис. 2. Режим грунтовых вод на опытных вариантах открытого дренажа /
Fig. 2. Groundwater regime in experimental variants of open drainage

Таблица 2 – Урожайность сена многолетних трав на опытных системах открытого дренажа, т/га
Table 2 – Hay yield of perennial grasses in experimental open drainage systems, t/ha

Вариант / Variant	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Среднее / Average
1	2,6	2,0	2,0	2,6	2,4	2,3
2	2,9	2,0	2,9	2,9	2,2	2,6
3	3,4	3,2	2,4	3,1	2,5	2,9
4	3,1	2,3	2,5	2,8	2,7	2,7
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	-	-	0,3

В последующий 2018 год за этот же период выпало всего 0,7 нормы осадков, ГТК составил 0,72 единицы. Наблюдавшееся в мае переувлажнение корнеобитаемого слоя почвы вызвало в июне засуху, что неизбежно сказалось на урожайности многолетних трав. Но и в данный период урожайность в вариантах сочетания ложбин стока с полосами возделывания была выше по сравнению с контролем. В последующие 3 года количество осадков за май-июнь превысило норму на 20-40 %, но высокий температурный фон (выше нормы на 6-13 %) привел к оптимизации влажности, ГТК составил 1,34-1,54. В этот период в среднем за 3 года урожайность в контроле получили 2,4 т/га, в опытных вариантах – 2,7 т/га.

Закключение. Под влиянием осушения формируются новые экологические режимы

грунтовых вод и влажности почвы, которые в свою очередь формируют новые режимы питания растений.

В процессе 30-летней эксплуатации открытых осушительных систем произошли изменения агрохимического состава дерново-подзолистых глинистых почв: обменная кислотность уменьшилась на всех опытных системах; содержание гумуса уменьшилось на 1,5 % в варианте сочетания ложбин с полосой рекультивации, в остальных вариантах увеличилось на 2-3 %; наиболее интенсивное снижение подвижного фосфора в корнеобитаемом слое почвы было отмечено на конструкциях сочетания ложбин с дренажем; содержание подвижного калия уменьшилось равномерно во всех опытных вариантах.

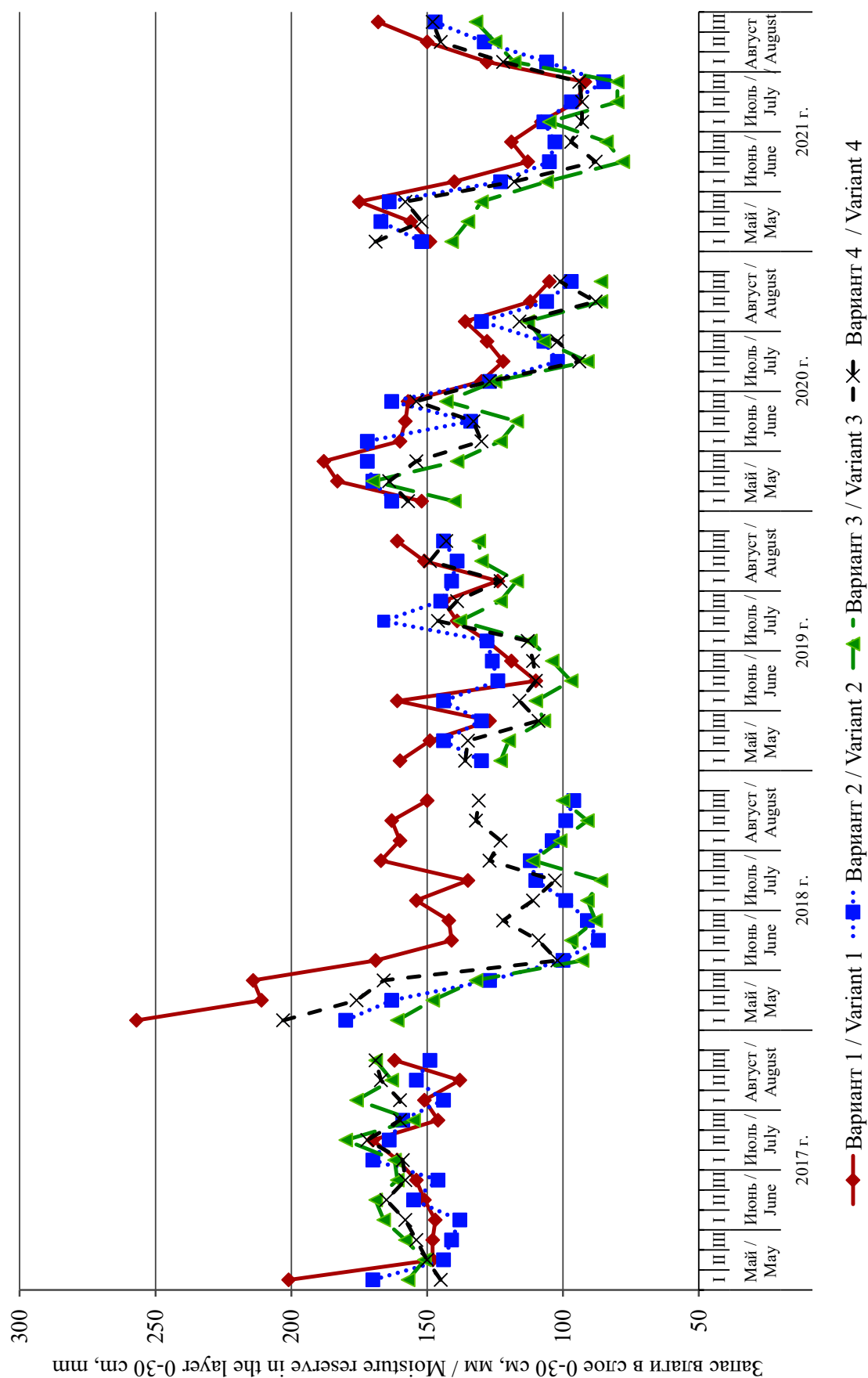


Рис. 3. Запас влаги в корнеобитаемом слое почвы на опытных системах открытого дренажа /
Fig. 3. Moisture reserve in the root layer of the soil in experimental open drainage systems

Применение в конструкциях ложбин стока по её дну закрытого дренажа обеспечило отсутствие грунтовых вод в пахотном горизонте за весь период наблюдения.

Наиболее благоприятный режим влажности корнеобитаемого слоя почвы в избыточно влажный 2017 год и последующие годы был

отмечен на системах ложбин стока в сочетании с полосами рекультивации.

Сформировавшиеся новые экологические режимы осушаемых ложбинно-полосовым способом почв оказали существенное влияние на урожайность сена многолетних трав.

Список литературы

1. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020;613:012011. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012011>
2. Балун О. В., Бойцов А. С. Состояние мелиорации в Новгородской области. Агрофизика. 2013;(2):28-33.
3. Митрахович А. И., Казмирук И. Ч., Кондратьев В. Н., Авраменко Н. М. Повышение эффективности работы дренажа на базе новых конструктивных элементов. Мелиорация. 2018;(2):5-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36332265>
4. Sofia G., Ragazzi F., Giandon P., Dalla Fontana G., Tarolli P. On the linkage between runoff generation, land drainage, soil properties, and temporal patterns of precipitation in agricultural floodplains. Advances in Water Resources. 2019;124:120-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.12.003>
5. Иванов А. И., Гулюк Г. Г., Янко Ю. Г. Актуальные вопросы развития мелиорации в Нечерноземье. Мелиорация и водное хозяйство. 2020;(3):5-12.
6. Устинов М. Т., Глистин М. В. Критический уровень грунтовых вод как критерий эколого-мелиоративного состояния почв. Мелиорация и водное хозяйство. 2018;(3):14-16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35357556>
7. Bou Lahdou G., Bowling L., Frankenberger J., Kladivko E. Hydrologic controls of controlled and free draining subsurface drainage systems. Agricultural Water Management. 2019;213:605-615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.038>
8. Зинковская Т. С., Ковалёв Н. Г., Зинковский В. И. Оптимизация водного режима почвы при возделывании картофеля на осушаемых землях. Мелиорация и водное хозяйство. 2016;(1):40-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460455>
9. Booman G. C., Latera P. Channelizing streams for agricultural drainage impairs their nutrient removal capacity. Journal of Environmental Quality. 2019;48(2):459-468. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2018.07.0264>
10. Povilaitis A., Lamsodis R., Bastienė N., Rudzianskaitė A., Misevičienė S., Miseckaitė O., Gužys S., Baigys G., Grybauskienė V., Balevičius G. Agricultural drainage in Lithuania: a review of practices and environmental effects. Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science. 2015;65:14-29. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.971050>
11. Hu Q., Yang Y., Han S., Wang J. Deterioration of the quantity and quality of drainage water in agriculture as a result of the expansion of agricultural land and water-saving operations in arid basins. Agricultural Water Management. 2019;213:185-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.019>
12. Моторин А. С. Плодородие торфяных почв Западной Сибири. Мелиорация и водное хозяйство. 2020;(1):16-22.
13. Xie X. F., Pu L. J., Zhu M., Wu T., Xu Y., Wang X. H. Effect of long-term reclamation on soil quality in agricultural reclaimed coastal saline soil, Eastern China. Journal of Soils and Sediments. 2020;20:3909-3920. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02698-w>
14. Qi L., Zhou P., Yang L. H., Gao M. Effects of land reclamation on the physical, chemical, and microbial quantity and enzyme activity properties of degraded agricultural soils. Journal of Soils and Sediments. 2020;20:973-981. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02432-1>
15. Тиво П. Ф., Саскевич Л. А., Постникова Д. А. Приемы повышения продуктивности осушенных земель Поозерья. Мелиорация. 2020;(3(93)):55-64. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44666547>

References

1. Balun O. V. Effectiveness of drainage of agricultural land by closed drainage in climatic conditions of the Novgorod Region. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Scientific and Practical Conference Biotechnology in the Agro-Industrial Complex and Sustainable Environmental Management. 2020;613:012011. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012011>
2. Balun O. N., Boytsov A. S. The state of land reclamation in the Novgorod region. *Agrofizika* = Agrophysica. 2013;(2):28-33. (In Russ.).
3. Mitrakhovich A. I., Kazmiruk I. Ch., Kondratyev V. N., Avramenko N. M. Enhancing the efficiency of drainage using new construction elements. *Melioratsiya* = Land reclamation. 2018;(2):5-12. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36332265>
4. Sofia G., Ragazzi F., Giandon P., Dalla Fontana G., Tarolli P. On the linkage between runoff generation, land drainage, soil properties, and temporal patterns of precipitation in agricultural floodplains. Advances in Water Resources. 2019;124:120-138. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2018.12.003>
5. Ivanov A. I., Gulyuk G. G., Yanko Yu. G. Relevant issues of land reclamation development in Non-black earth area. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2020;(3):5-12. (In Russ.).
6. Ustinov M. T., Glistin M. V. Critical level of groundwater as a criterion critical level of groundwater as a criterion ecological-meliorative state of soils. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2018;(3):14-16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35357556>

7. Bou Lahdou G., Bowling L., Frankenberger J., Kladvko E. Hydrologic controls of controlled and free draining subsurface drainage systems. *Agricultural Water Management*. 2019;213:605-615. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.038>
8. Zinkovskaya T. S., Kovalev N. G., Zinkovskiy V. I. Optimization of soil water regime in potato growing on drained lands. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2016;(1):40-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26460455>
9. Booman G. C., Latera P. Channelizing streams for agricultural drainage impairs their nutrient removal capacity. *Journal of Environmental Quality*. 2019;48(2):459-468. DOI: <https://doi.org/10.2134/jeq2018.07.0264>
10. Povilaitis A., Lamsodis R., Bastienė N., Rudzianskaitė A., Misevičienė S., Miseckaitė O., Gužys S., Baigys G., Grybauskienė V., Balevičius G. Agricultural drainage in Lithuania: a review of practices and environmental effects. *Acta Agriculturae Scandinavica Section B: Soil and Plant Science*. 2015;65:14-29. DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2014.971050>
11. Hu Q., Yang Y., Han S., Wang J. Deterioration of the quantity and quality of drainage water in agriculture as a result of the expansion of agricultural land and water-saving operations in arid basins. *Agricultural Water Management*. 2019;213:185-192. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.019>
12. Motorin A. S. Fertility of peat soils in Western Siberia. *Melioratsiya i vodnoe khozyaystvo* = Melioration and Water Management. 2020;(1):16-22. (In Russ.).
13. Xie X. F., Pu L. J., Zhu M., Wu T., Xu Y., Wang X. H. Effect of long-term reclamation on soil quality in agricultural reclaimed coastal saline soil, Eastern China. *Journal of Soils and Sediments*. 2020;20:3909-3920. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-020-02698-w>
14. Qi L., Zhou P., Yang L. H., Gao M. Effects of land reclamation on the physical, chemical, and microbial quantity and enzyme activity properties of degraded agricultural soils. *Journal of Soils and Sediments*. 2020;20:973-981. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11368-019-02432-1>
15. Tivo P. F., Saskevich L. A., Postnikova D. A. The methods of increasing the productivity of drained lands of Poozerye region. *Melioratsiya* = Land reclamation. 2020;(3(93)):55-64. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44666547>

Сведения об авторах

✉ **Балун Ольга Васильевна**, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>, e-mail: bov0001@mail.ru

Шкодина Елена Петровна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Яковлева Валентина Александровна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Жукова Светлана Юрьевна, старший научный сотрудник, Новгородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Санкт-Петербургский Федеральный исследовательский центр Российской академии наук» (Новгородский НИИСХ – филиал СПб ФИЦ РАН), д. 2, ул. Парковая, п/о Борки, Новгородский район, Новгородской обл., Российская Федерация, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

Information about the authors

✉ **Olga V. Balun**, PhD in Engineering, associate professor, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0792>, e-mail: bov0001@mail.ru

Elena P. Shkodina, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4057-9910>

Valentina A. Yakovleva, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Parkovaya, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0349-8185>

Svetlana Yu. Zhukova, senior researcher, Novgorod Research Agriculture Institute – Branch of St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, 2, str. Park, etc. Borkey, Novgorod district, Novgorod region, Russian Federation, 173516, e-mail: info@spcras.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8034-2489>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы

© 2022. А. А. Артемьев✉, А. М. Гурьянов

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

Исследования по применению минеральных удобрений с учетом внутрипочвенной variability агрохимических показателей в посевах суданской травы сорта Кинельская 100 проводили в 2011 и 2017 гг. в двух полях полевого севооборота, развернутого во времени (чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – суданская трава – яровой ячмень) на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом (гумус в пахотном слое – 5,2-7,1 %, нитратный и аммонийный азот 6,5-16,9 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора – 83-201 мг/кг почвы и обменного калия – 91-198 мг/кг почвы) в лесостепных районах Евро-Северо-Востока РФ (Республика Мордовия). Схема опыта включала 3 варианта (плановая урожайность зеленой массы суданской травы 20,0 т/га): контроль (без удобрений); усредненная доза удобрений ($N_{89}P_{33}K_{30}$ – в 2011 г., $N_{92}P_{35}K_{28}$ – в 2017 г.); дифференцированная доза ($N_{73-99}P_{21-31}K_{23-32}$ – в 2011 г. и $N_{70-103}P_{24-40}K_{20-21}$ – в 2017 г.). Опыт заложен по принципу расщепленной делянки, где делянки 1-го порядка отведены под варианты с удобрениями, а делянки 2-го (по 5 делянок в каждом повторении) – для определения variability внутрипочвенного плодородия и внесения удобрений. В среднем по двум полям севооборота наибольшая урожайность суданской травы (25,1 т/га) наблюдалась в варианте с дифференцированным применением удобрений, что достоверно выше контроля (на 49 %) и варианта с усредненными дозами (на 10 %). Внесение удобрений с учетом неоднородности плодородия почвы обеспечило наименьший размах варьирования урожайности (4,4 т/га) по делянкам полигона при незначительном уровне коэффициента вариации ($V = 6$ %). Применение удобрений положительно влияло на сбор с 1 га сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина. По этим показателям достоверное преимущество наблюдалось в варианте с дифференцированными дозами, который обеспечил и наибольший уровень рентабельности производства (122,3 %).

Ключевые слова: урожайность, дифференцированные дозы, усредненные дозы, эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Министерства науки и образования Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-006, рег. №1021060407720-0).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Дифференцированное применение минеральных удобрений при возделывании суданской травы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):369-377.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377>

Поступила: 05.04.2022

Принята к публикации: 23.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass

© 2022. Andrey A. Artemjev✉, Alexander M. Guryanov

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

Research on the use of mineral fertilizers considering the intrasoil variability of agrochemical indicators in the sowings of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety was carried out in 2011 and 2017 in two fields of crop rotation deployed in time (pure fallow - winter wheat – spring wheat – spring wheat – Sudanese grass – spring barley) on leached heavy loamy chernozem (humus in the arable layer – 5.2-7.1 %, nitrate and ammonium nitrogen 6.5-16.9 mg/kg of soil, mobile forms of phosphorus – 83-201 mg/kg of soil and exchangeable potassium – 91-198 mg/kg of soil) in the forest-steppe regions of the Euro-North-East of the Russian Federation (The Republic of Mordovia). The scheme of the experiment included 3 variants with fertilizers (planned yield of green mass of Sudanese grass 20.0 t/ha): control (without fertilizers); average dose of fertilizers ($N_{89}P_{33}K_{30}$ – in 2011, $N_{92}P_{35}K_{28}$ – in 2017); differentiated doses ($N_{73-99}P_{21-31}K_{23-32}$ in 2011 and $N_{70-103}P_{24-40}K_{20-21}$ in 2017). The experiment was based on the principle of a split plot, where plots of the 1st order were reserved for variants with fertilizers, and plots of the 2nd order (5 plots in each repetition) were used to determine the variability of intrasoil fertility and fertilizer application. On average, among two crop rotation fields, the highest yield of Sudan grass (25.1 t/ha) was obtained in the variant with differentiated use of fertilizers, that was significantly higher than the control (49 %) and 10 % higher than in the variant with average doses. The application of fertilizers considering the heterogeneity of soil fertility ensured the smallest range of variation of the yield (4.4 t/ha) among the plots of the testing ground with an insignificant level of variation coefficient ($V = 6$ %). The use of fertilizers had a positive effect on the collection of dry matter, feed units and digestible protein per 1 ha. According to these indicators, a significant advantage was observed for the variant with differentiated doses, which also provided the highest level of production profitability (122.3 %).

Keywords: yield, differentiated doses, average doses, efficiency

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-006, reg. No 1021060407720-0).

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

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

For citations: Artemjev A. A., Guryanov A. M. Differentiated application of mineral fertilizers in cultivation of Sudanese grass. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):369-377. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.369-377>

Received: 05.04.2022

Accepted for publication: 23.05.2022

Published online: 23.06.2022

В настоящее время эффективность использования минеральных удобрений в посевах сельскохозяйственных культур в условиях нашей страны остается невысокой. Данное явление обусловлено, в первую очередь, их применением без учета внутрипольной изменчивости параметров плодородия почвы [1, 2]. Из-за этого часто наблюдается низкая урожайность возделываемых культур, и как следствие – незначительная окупаемость удобрений [3, 4, 5, 6]. На смену традиционно сложившейся парадигме, усредненного применения агрохимических средств без учета состояния поля и посевов, сегодня приходит качественно новая прецизионная система. В ее основе лежит дифференцированный подход в вопросе адаптации агротехнологий к пространственной неоднородности почвенного плодородия [7, 8, 9]. Качественным дополнением для нее также служат новейшие географические информационные системы (ГИС) со спутниковой навигацией, способные повысить информативность и достоверность показателей плодородия и выполнение технологических процессов [10, 11, 12, 13, 14, 15]. Вместе с тем, для реализации точных технологий в конкретных условиях региона требуется проведение научных исследований по оценке эффективности дифференцированного применения минеральных удобрений и корректировки нормативной базы их внесения [16, 17, 18, 19]. Данное направление является актуальным и имеет определенный практический результат.

Цель исследования – изучить влияние дифференцированного применения минеральных удобрений на урожайность, качество зеленой массы и эффективность возделывания суданской травы в полевом севообороте.

Научная новизна исследований состоит в обосновании дифференцированного применения минеральных удобрений в посевах суданской травы с учетом пространственной вариативности почвенных элементов питания и природно-климатических условий региона.

Материал и методы. Оценку эффективности применения минеральных удобрений по разным технологиям в посевах суданской

травы сорта Кинельская 100 проводили в 2011 и 2017 гг. в лесостепных районах Евро-Северо-Востока РФ на опытном участке Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в двух полях полевого севооборота (чистый пар – озимая пшеница – яровая пшеница – яровая пшеница – суданская трава – яровой ячмень), развернутого во времени. Стационарный полигон был заложен в 2004 году на черноземе выщелоченном среднемощном среднегумусном тяжелосуглинистом. По содержанию в почве элементов питания наблюдалось значительное варьирование. Это в свою очередь позволило репрезентативно оценить разнообразие данных о полигоне и сделать реальное заключение об отзывчивости растений суданской травы на дифференцированное внесение удобрений. Почва опытного участка характеризовалась следующими агрохимическими показателями: гумус в пахотном слое – 5,2-7,1 %, нитратный и аммонийный азот 6,5-16,9 мг/кг почвы, подвижные формы фосфора – 83-201 мг/кг почвы и обменного калия – 91-198 мг/кг почвы, $pH_{\text{сол}}$ – 4,4-4,8. Рельеф участка ровный.

Стационарный полигон имеет площадь 1 га и разделен на 45 секторов (делянки, элементарные участки). Размер каждого сектора скорректирован с учетом ширины захвата сельскохозяйственной техники и орудий. Площадь сектора составляет 220,7 м² (37,4 × 5,9). Повторность трехкратная. Каждый вариант включает в себя 15 секторов. Эксперимент заложен по принципу расщепленной деланки, в котором деланки 1-го порядка отведены под один из 3 вариантов с удобрениями, а деланки 2-го (по пять деланок в каждом повторении) – для определения неоднородности плодородия почвы и применения минеральных удобрений. Схема опыта включала следующие варианты:

1. Контроль (без удобрений).
2. Применение минеральных удобрений по традиционной технологии (усредненная доза азота, фосфора и калия, рассчитанная на плановую урожайность суданской травы

20 т/га зеленой массы с учетом средневзвешенных агрохимических показателей почвы 15 делянок всех трех повторений этого варианта).

3. Дифференцированное применение минеральных удобрений (дифференцированная доза азота, фосфора и калия, рассчитанная на плановую урожайность суданской травы 20 т/га

зеленой массы с учетом агрохимических показателей почвы каждой делянки всех трех повторений этого варианта).

Для наглядного представления расположения вариантов на рисунке 1 отражена схема опыта и точек взятия образцов почвы на полигоне.

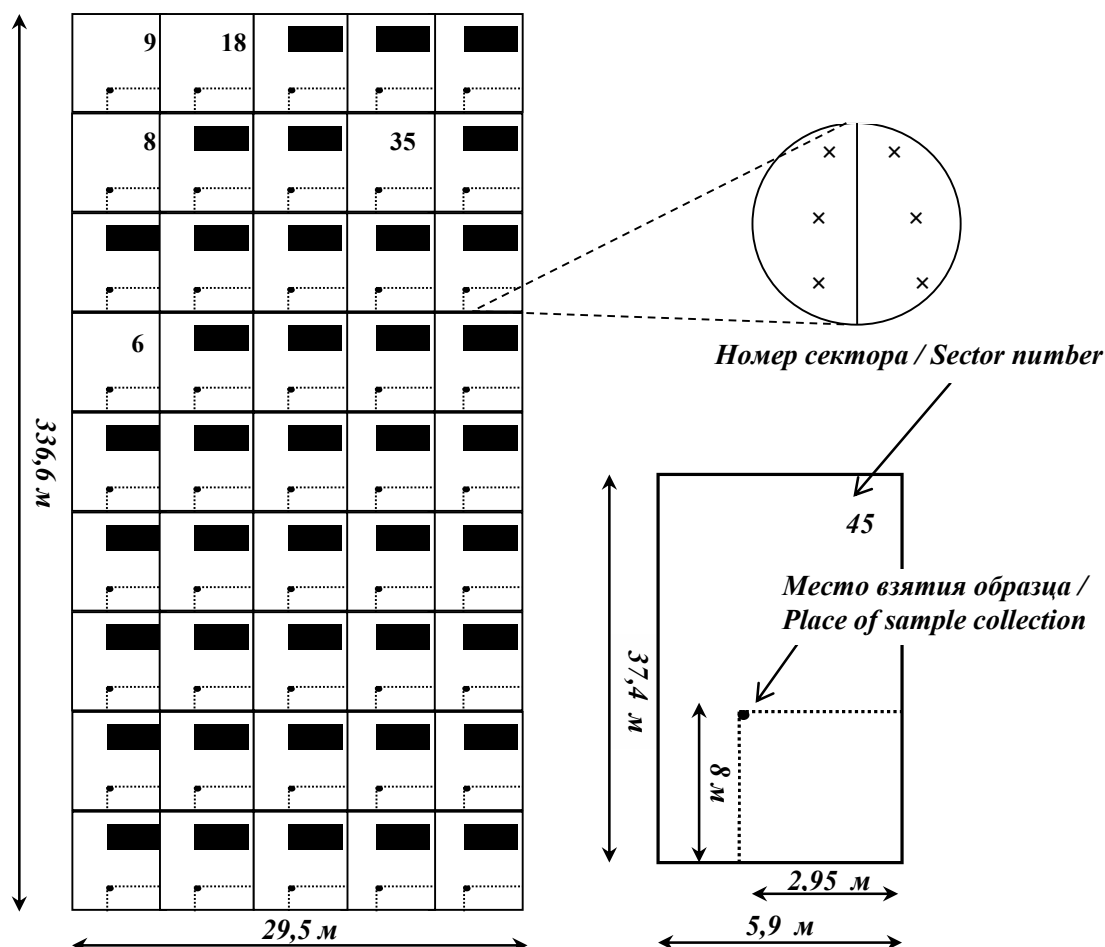


Рис. 1. Схематичный план опытного полигона и точек взятия образцов почвы: усредненные дозы: I повторение – 1, 10, 19, 28, 37, II повторение – 4, 13, 22, 31, 40, III повторение – 7, 16, 25, 34, 43; контроль: I повторение – 2, 11, 20, 29, 38, II повторение – 5, 14, 23, 32, 41, III повторение – 8, 17, 26, 35, 44; дифференцированные дозы: I повторение – 3, 12, 21, 30, 39, II повторение – 6, 15, 24, 33, 42, III повторение – 9, 18, 27, 36, 45 /

Fig. 2. Schematic plan of the testing ground and soil sampling points: the average doses: the 1-st repetition – 1, 10, 19, 28, 37, the 2-nd repetition – 4, 13, 22, 31, 40, the 3-d repetition – 7, 16, 25, 34, 43; the control: the 1-st repetition – 2, 11, 20, 29, 38, the 2-nd repetition – 5, 14, 23, 32, 41, the 3-d repetition – 8, 17, 26, 35, 44; the differentiated doses: the 1-st repetition – 3, 12, 21, 30, 39, the 2-nd repetition – 6, 15, 24, 33, 42, the 3-d repetition – 9, 18, 27, 36, 45

Проведение полевого эксперимента с дифференцированным внесением удобрений отличалось от принятого. Традиционное выполнение исследований исключает вариабельность плодородия почвы в пределах опытного участка, повторений, опытной делянки. При дифференцированном внесении удобрений, наоборот, учитывалось внутри-

почвенное варьирование элементов питания каждой делянки варианта. Поэтому для проведения опыта выбирался полевой участок с генетически однородной почвой, но разным содержанием агрохимических показателей. Это достигалось путем использования участка с ранее завершенным длительным полевым экспериментом с удобрениями.

В среднем по двум полям полевого севооборота при возделывании суданской травы в 2011 и 2017 гг. (плановая урожайность 20 т/га зеленой массы) усредненные дозы составили соответственно $N_{89}P_{33}K_{30}$ и $N_{92}P_{35}K_{28}$, дифференцированные – $N_{73-99}P_{21-31}K_{23-32}$ и $N_{70-103}P_{24-40}K_{20-21}$. Суданскую траву в опыте высевали в конце первой декады мая рядовым способом с междурядьями 15 см и нормой высева 15 кг (1,1 млн всх. семян на 1 га). Глубина заделки семян составила 3–4 см. Удобрения вносили вручную под предпосевную культивацию.

При отборе почвы для определения агрохимических показателей (рН, гумус, нитратный и аммонийный азот, подвижный фосфор P_2O_5 и обменный калий K_2O) использовался сеточный метод из центра ячейки, где размеры сетки соответствовали размеру делянок¹. Отбор проб осуществляли с глубины пахотного слоя (0–25 см). Агрохимический анализ выполняли в сертифицированной лаборатории Центра агрохимического обслуживания «Мордовский». Изучали каждый сектор полигона, результаты обрабатывали статистическим методом дисперсионного анализа² с использованием компьютерных программ обработки данных. Контурные карты с распределением основных элементов питания и урожайности суданской травы по секторам полигона выстраивали с помощью программы Surfer 7.0^{3,4}. Экономическую эффективность рассчитывали по технологическим картам с использованием типовых норм в ценах 2021 года с учетом качества зеленой массы и в соответствии с рекомендациями по определению экономического эффекта от использования результатов НИР и ОКР в агропромышленном комплексе⁵.

Условия вегетации по погоде соответствовали зоне лесостепных районов Евро-Северо-Востока РФ, однако не всегда были благоприятными для роста и развития растений суданской травы. Так, 2011 г. по условиям

увлажнения характеризовался проявлением слабой степени засухи, ГТК за вегетацию составил 0,85. В 2017 г. наблюдали нормальные условия увлажнения (ГТК = 1,25).

Результаты и их обсуждение. Дифференцированное применение удобрений в системе точного земледелия является одной из главных составляющих технологии. Поэтому при изучении вариативности агрохимических показателей почвы и поля в целом важно получить данные о содержании питательных веществ с каждого элементарного участка, в нашем случае делянки опытного полигона с жесткой привязкой к месту отбора проб почвы. На основе этого формируется контурная карта с распределением элементов питания по полю. Демонстративно это выражено на рисунке 2, показывающем распределение по делянкам опытного полигона минерального азота, подвижного фосфора и обменного калия в среднем по двум полям полевого севооборота перед посевом суданской травы.

Данные контурных карт показывают, что по содержанию указанных минеральных веществ опытные делянки полигона относились к разным систематическим категориям. Так, по уровню нитратного и аммонийного азота почва отличалась низким и средним содержанием, по фосфору и калию характеризовалась средней и высокой обеспеченностью. Такая неравномерность по элементам питания дала возможность репрезентативно оценить разные технологии внесения минеральных удобрений и определить их влияние на продуктивность суданской травы. Исходя из имеющегося варьирования агрохимических показателей почвы, в варианте с дифференцированными дозами наибольшее количество минеральных туков вносилось на делянки с меньшим содержанием элементов питания, а наименьшее – на делянки с высокой обеспеченностью показателей плодородия.

¹Методика отбора почвенных проб по элементарным участкам поля в целях дифференцированного применения удобрений. В. Г. Сычев, Р. А. Афанасьев, Г. И. Личман и др. М.: ВНИИА, 2007. 36 с.

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

³Golden Software Ins. Surfer 7.0 Help [Электронный ресурс].

URL: <http://www.goldensoftware.com/> (дата обращения: 17.03.2022).

⁴Мальцев К. А. Основы работы в программе Surfer 7.0. Казань: Изд-во КГУ, 2008. 24 с.

⁵Полунин Г. А., Гарист А. В., Князева Р. И. Методические рекомендации по определению экономического эффекта от использования результатов научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ в агропромышленном комплексе. М.: АНО «НИЦПО», 2007. 32 с.

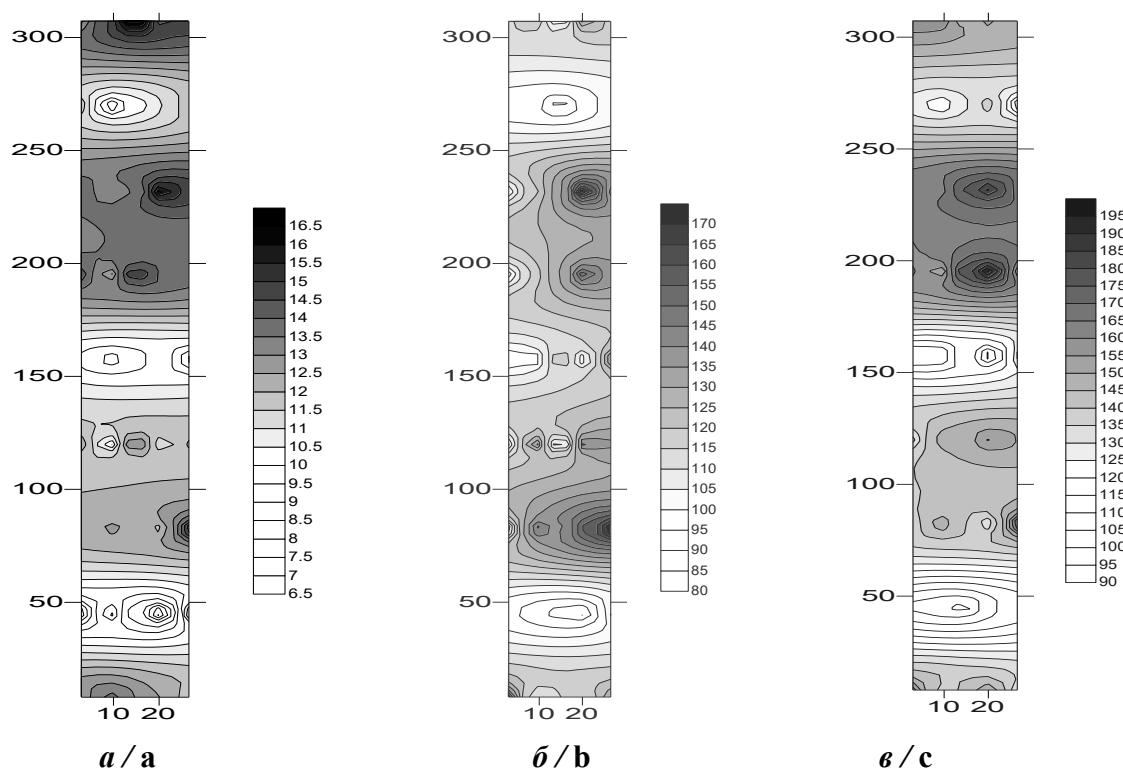


Рис. 2. Распределение основных элементов питания на опытном полигоне, мг/кг почвы (среднее по двум полям севооборота): а) нитратного + аммонийного азота ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); б) подвижного фосфора (P_2O_5); в) обменного калия (K_2O) /

Fig. 2. Distribution of basic nutrients at the testing ground, mg/kg of soil (average for two crop rotation fields): a) nitrate + ammonium nitrogen ($\text{NH}_4\text{-NO}_3$); b) mobile phosphorus (P_2O_5); c) exchangeable potassium (K_2O)

Различные технологии применения минеральных удобрений оказали влияние на продуктивность суданской травы (табл. 1). В среднем по двум полям полевого севооборота наибольшая урожайность зеленой массы (25,1 т/га) получена в варианте с дифференцированным внесением минеральных туков. Применение усредненной дозы достоверно снижало на

10 % данный показатель. В контроле урожайность была на 49 % меньше, чем в варианте с дифференцированными дозами и на 43 %, чем при традиционном внесении удобрений.

Неравномерное распределение элементов питания по делянкам опытного полигона также оказало влияние на урожайность суданской травы (рис. 3, 4).

Таблица 1 – Продуктивность суданской травы сорта Кинельская 100 в зависимости от варианта применения минеральных удобрений (в среднем по двум полям севооборота) /

Table 1 – The productivity of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety depending on the variant with application of mineral fertilizers (average for two fields of crop rotation)

Показатель / Indicator	Вариант / Variant			HCP ₀₅ / LSD ₀₅
	контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)	усредненная доза / average dose	дифференцированная доза / differentiated dose	
Урожайность зеленой массы, т/га / Green mass yield, t/ha	12,8	22,8	25,1	1,8
Сухое вещество, т/га / Dry matter, t/ha	4,5	7,9	8,9	0,8
Кормовые единицы с 1 га / Feed units per 1 ha	2430	4330	4770	339
Переваримый протеин, т/га / Digestible protein, t/ha	0,29	0,52	0,58	0,04

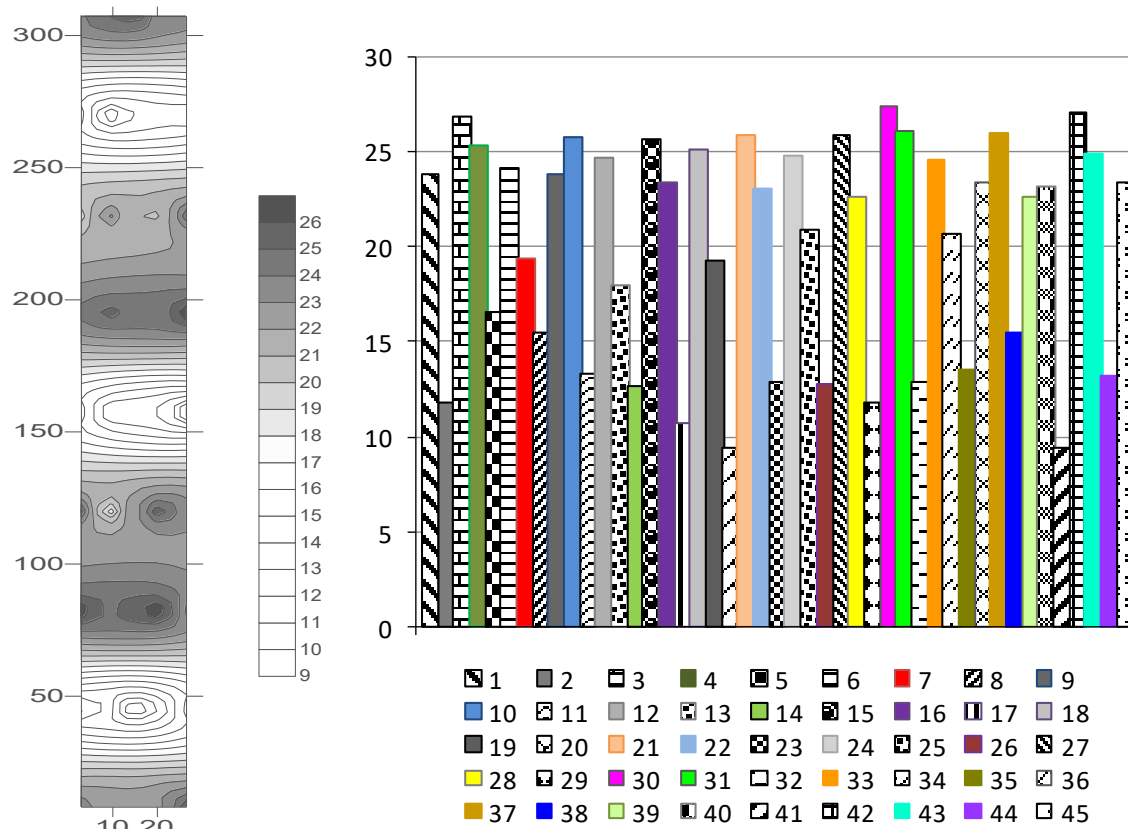


Рис. 3. Карта урожайности суданской травы сорта Кинельская 100 на опытном полигоне, т/га (среднее по двум полям севооборота) /
Fig. 3. Yield Map of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety on the testing ground, t/ha (average for two crop rotation fields)

Рис. 4. Урожайность суданской травы сорта Кинельская 100 по участкам опытного полигона, т/га (среднее по двум полям севооборота) /
Fig. 4. The yield of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety by plots of the testing ground, t/ha (average for two crop rotation fields)

В целом по опыту полученные величины урожайности зеленой массы суданской травы по делянкам опытного полигона показывают, что размах варьирования по данному показателю составил 18,0 т/га при значительном уровне коэффициента вариации ($V = 27,7\%$). Рассматривая отдельно каждый вариант опыта, видно, что в варианте с усредненными дозами удобрений размах варьирования оказался 8,1 т/га при среднем значении коэффициента вариации ($V = 13\%$). В контроле разница между максимальным и минимальным значениями урожайности составила 7,2 т/га при наибольшем среди вариантов опыта коэффициенте вариации ($V = 21\%$). Незначительный уровень коэффициента вариации отмечен в варианте с дифференцированными дозами удобрений ($V = 6\%$) при размахе варьирования 4,4 т/га.

Применение удобрений положительно влияло на сбор с 1 га сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина (табл. 1). По этим показателям достоверное преимущество наблюдалось в варианте с дифференцированным применением минеральных удоб-

рений. Наименьшие значения данных показателей отмечены в контроле.

Экономическая оценка возделывания суданской травы отражена в таблице 2. Анализ расчета показал, что возделывание суданской травы эффективнее при дифференцированном внесении минеральных удобрений. В контроле значение рентабельности понизилось на 61,8 %, а в варианте с усредненной дозой – на 22,8 %.

В целом по опыту анализ эффективности дополнительных затрат от внесения минеральных удобрений показал, что использование традиционной технологии с усредненными дозами приводило к уменьшению прибыли с 1 га посевной площади.

В расчете на 1 гектар посевов расход минеральных удобрений при дифференцированном их внесении составил в среднем по двум полям полевого севооборота 139 кг д. в., а при внесении усредненных доз – 154 кг д. в. Дифференцированное применение удобрений обеспечило снижение их расхода на 10 %.

Таблица 2 – Экономическая эффективность возделывания суданской травы сорта Кинельская 100 в зависимости от варианта применения минеральных удобрений (в среднем по двум полям севооборота) /
Table 2 – Economic efficiency of cultivation of Sudanese grass of Kinelskaya 100 variety depending on the variant with mineral fertilizers use (average for two fields of crop rotation)

Показатель / Indicator	Вариант / Variant		
	контроль (без удобрений) / control (without fertilizers)	усредненная доза / average dose	дифференцированная доза / differentiated dose
Кормовые единицы с 1 га / Feed units per 1 ha	2430	4330	4770
Стоимость валового сбора, руб/га / The cost of the gross collection, rub/ha	21870	38970	42930
Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha	13620	19530	19310
Условно чистый доход, руб/га / Net operating profit, rub/ha	8250	19440	23620
Рентабельность производства, % / Production profitability, %	60,5	99,5	122,3

Заклучение. Продуктивность суданской травы сорта Кинельская 100 изменялась как от дозы внесения минеральных удобрений, так и от неравномерности распределения элементов питания по делянкам опытного полигона. В среднем по двум полям полевого севооборота наибольшая урожайность зеленой массы (25,1 т/га) суданской травы отмечена в варианте с дифференцированным внесением удобрений, что на 49 % выше, чем в контроле и на 10 %, чем в варианте с усредненной дозой. Дифференцированные дозы обеспечили незна-

чительный уровень коэффициента вариации ($V = 6\%$) при размахе варьирования 4,4 т/га, тогда как традиционное применение туков приводило к увеличению коэффициента вариации до среднего значения ($V = 13\%$) с размахом варьирования 8,1 т/га. Применение удобрений положительно влияло на сбор с 1 га сухого вещества, кормовых единиц и переваримого протеина. По этим показателям достоверное преимущество наблюдалось в варианте с дифференцированными дозами, в котором был обеспечен и наибольший уровень рентабельности производства (122,3 %).

Список литературы

1. Ерёмин Д. И., Кибук Ю. П. Дифференцированное внесение удобрений как инновационный подход в системе точного земледелия. Вестник КрасГАУ. 2017;(8):17-26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>
2. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Изменение агрохимических показателей чернозема выщелоченного под влиянием дифференцированного применения минеральных удобрений. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(2):144-152. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>
3. Марченко Л. А., Личман Г. И., Смирнов И. Г., Мочкова Т. В., Колесникова В. А. Дифференцированное внесение удобрений и пестицидов с использованием беспилотных летательных аппаратов. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2017;(3):17-23. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-3-17-23>
4. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность возделывания озимой пшеницы при дифференцированном использовании минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2020;(4(34)):5-10. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405>
5. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Возделывание яровой пшеницы при различных технологиях применения минеральных удобрений. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(3(381)):78-81. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-3-78-81>
6. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. European Journal of Agronomy. 2018;(99):62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>
7. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Scheffe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? Agricultural Systems. 2021;(186):102962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>
8. Наумкин В. Н., Наумкина Л. А., Крюков А. Н., Хлопяников А. М., Хлопяникова Г. В. К разработке эффективных дифференцированных технологий возделывания полевых культур. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2019;(1(21)):127-132. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37378399>

9. Дерепаскин А. И., Куваев А. Н., Токарев И. В. Полевые исследования культиватора-удобрителя с системой дифференцированного внесения минеральных удобрений. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;(15(2)):46-52. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52>
10. Ивановская В. В., Голубева Е. И., Труфанов А. В. Применение ГИС-технологий для оптимизации сельскохозяйственного природопользования. Проблемы региональной экологии. 2020;(5):36-41. DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2020-5-36-41>
11. Шаповалов Д. А., Королева П. В., Калинина Н. В., Вильчевская Е. В., Куляница А. Л., Рухович Д. И. ASF-INDEX – карта устойчивой внутриполевой неоднородности плодородия почвенного покрова, построенная на основе больших спутниковых данных для задач точного земледелия. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020;(1):9-15. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-11002>
12. Rosell-Polo J. R., Cheein F. A., Escolà A. Advances in Structured Light Sensors Applications in Precision Agriculture and Livestock Farming. Advances in Agronomy. 2015;(133):71-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.05.002>
13. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. Advances in Agronomy. 2022;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
14. Fabbri C., Mancini M., Marta A., Orlandini S., Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. European Journal of Agronomy. 2020;(120):126148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126148>
15. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. Agricultural Systems. 2018;167:176-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2018.09.011>
16. Цыганова Н. А. Энергетическая и экономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте. Агрофизика. 2020;(1):37-44. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.01.06>
17. Шерстобитов С. В. Эффективность дифференцированного внесения азотных удобрений в режиме off-line в условиях Западной Сибири. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2021;(5(91)):22-26. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26>
18. Чикишев Д. В. Экономическая эффективность применения минеральных удобрений с использованием систем спутниковой навигации. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2020;(7):28-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666>
19. Денисова О. К., Козлова М. В. Экономические аспекты применения технологии точного земледелия в Восточно-Казахстанской области. Проблемы агропродовольствия. 2018;(1):163-170. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069>

References

1. Eremin D. I., Kibuk Yu. P. Differentiated application of fertilizers as an innovative approach in the system of precision farming. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2017;(8):17-26. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29875923>
2. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Changes in agrochemical parameters of leached chernozem under the influence of differentiated use of minerals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(2):144-152. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.2.144-152>
3. Marchenko L. A., Lichman G. I., Smirnov I. G., Mochkova T. V., Kolesnikova V. A. Variable rate application of fertilizers and pesticides using unmanned aerial vehicles. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii = Agricultural Machinery and Technologies*. 2017;(3):17-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2017-3-17-23>
4. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of winter wheat cultivation with the differentiated application of mineral fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;(4(34)):5-10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10405>
5. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Cultivation of spring wheat with various technologies of application of mineral fertilizers. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal = International Agricultural Journal*. 2021;(3(381)):78-81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-3-78-81>
6. Monzon J. P., Calviño P. A., Sadras V. O., Zubiaurre J. B., Andrade F. H. Precision agriculture based on crop physiological principles improves whole-farm yield and profit: A case study. *European Journal of Agronomy*. 2018;(99):62-71. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2018.06.011>
7. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Scheffe C. R. Precision variable rate nitrogen for dryland farming on waterlogging Riverine Plains of Southeast Australia? *Agricultural Systems*. 2021;(186):102962. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102962>
8. Naumkin V. N., Naumkina L. A., Kryukov A. N., Khlopyanikov A. M., Khlopyanikova G. V. To development of effective differentiating technologies of cultivation of field cultures. *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy = Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives*. 2019;(1(21)):127-132. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37378399>

9. Derepaskin A. I., Kuvaev A. N., Tokarev I. V. CultivatorFertilizer Field Tests Using a Differential Fertilization System. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(2):46-52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-2-46-52>
10. Ivanovskaya V. V., Golubeva E. I., Trufanov A. V. GIS-technologies application to agricultural goals solving. *Problemy regional'noy ekologii* = Regional Environmental Issues. 2020;(5):36-41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2020-5-36-41>
11. Shapovalov D. A., Koroleva P. V., Kalinina N. V., Vilchevskaya E. V., Kulyanitsa A. L., Rukhovich D. I. ASF-INDEX – a map of stable intra-field heterogeneity of soil cover fertility, based on big satellite data for precision agriculture tasks. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(1):9-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-6740-2020-11002>
12. Rosell-Polo J. R., Cheein F. A., Escolà A. Advances in Structured Light Sensors Applications in Precision Agriculture and Livestock Farming. *Advances in Agronomy*. 2015;(133):71-112. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2015.05.002>
13. Rabia A. H., Neupane J., Lin Z., Lewis K., Cao G., Guo W. Principles and applications of topography in precision agriculture. *Advances in Agronomy*. 2022;(171):143-189. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.agron.2021.08.005>
14. Fabbri C., Mancini M., Marta A., Orlandini S., Napoli M. Integrating satellite data with a Nitrogen Nutrition Curve for precision top-dress fertilization of durum wheat. *European Journal of Agronomy*. 2020;(120):126148. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126148>
15. Capmourteres V., Adams J., Berg A., Fraser E., Swanton C., Anand M. Precision conservation meets precision agriculture: A case study from southern Ontario. *Agricultural Systems*. 2018;167:176-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.AGSY.2018.09.011>
16. Tsyganova N. A. Energy and economical efficiency of site-specific application of mineral fertilizers in field crop rotation. *Agrofizika* = Agrophysics. 2020;(1):37-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRPH.2020.01.06>
17. Sherstobitov S. V. Efficiency of differentiated application of nitrogen fertilizers in the off-line mode in the conditions of Western Siberia. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2021;(5(91)):22-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-91-5-22-26>
18. Chikishev D. V. Ekonomicheskaya effektivnost' primeneniya mineral'nykh udobreniy s ispol'zovaniem sistem sputnikovoy navigatsii. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2020;(7):28-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44191666>
19. Denisova O. K., Kozlova M. V. Economic aspects of application of precise farming technology in the east Kazakhstan region. *Problemy agrorynka* = Problems of AgriMarket. 2018;(1):163-170. (In Kazakhstan). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35313069>

Сведения об авторах

✉ **Артемьев Андрей Александрович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией координатного земледелия, зам. директора по научной работе, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р. п. Ялга, г. о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Гурьянов Александр Михайлович, доктор с.-х. наук, профессор, директор, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Мичурина, д. 5, р. п. Ялга, г. о. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2642-1498>

Information about the authors

✉ **Andrey A. Artemjev**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Coordinate Farming, Principal Director of Scientific Research, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, s. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8759-8070>, e-mail: artemjevaa@yandex.ru

Alexander M. Guryanov, DSc in Agricultural Science, professor, director, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Michurin street, 5, s. Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2642-1498>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Изменение агрохимических показателей светло-серой лесной почвы и продуктивности клевера лугового в зависимости от уровня минерального питания на фоне последствий известкования в условиях юго-востока Волго-Вятского региона

© 2022. А. В. Ивенин[✉], А. П. Саков, Ю. А. Богомолова, Т. С. Бузынина

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

Исследования проведены в длительном стационарном опыте, заложенном в 1978 г. на светло-серой лесной почве в условиях Нижегородской области. В 2020–2021 гг. изучали эффективность различных доз минеральных удобрений ($N_0P_0K_0$, $N_{15}P_{40}K_{60}$, $N_{30}P_{80}K_{120}$, $N_{45}P_{120}K_{180}$) на фоне известкования при закладке опыта (в дозах 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 гидролитической кислотности) на урожайность клевера лугового Мартум 1 и 2 годов пользования. Установлено, что дозы извести, внесенные в 1978 г., к августу 2021 года не влияли на изменение агрохимических показателей светло-серой лесной почвы (кислотность, содержание подвижных форм фосфора и калия, гумуса) и урожайность клевера лугового 1 и 2 г. п. Длительное применение (1978–2021 гг.) одинарных и двойных доз минеральных удобрений не обеспечило накопления гумуса, подвижных форм фосфора и калия по сравнению с их исходным содержанием в пахотном слое светло-серой лесной почвы. Увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия (P_2O_5 на 34,1 мг/кг, K_2O – на 22,3 мг/кг) наблюдалось при длительном внесении тройных доз минеральных удобрений. Использование минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{120}K_{180}$ позволило получить 36,5 и 37,9 т/га зеленой массы клевера в 1- и 2-й год пользования и самую высокую суммарную урожайность – 74,4 т/га (на 12,0–22,2 т/га выше контроля и остальных изучаемых вариантов внесения минеральных удобрений).

Ключевые слова: *Trifolium pratense* L., подвижный калий, подвижный фосфор, гумус, известь, продуктивность, минеральные удобрения, длительный стационарный опыт

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ивенин А. В., Саков А. П., Богомолова Ю. А., Бузынина Т. С. Изменение агрохимических показателей светло-серой лесной почвы и продуктивности клевера лугового в зависимости от уровня минерального питания на фоне последствий известкования в условиях юго-востока Волго-Вятского региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):378–385. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.378-385>

Поступила: 04.02.2022

Принята к публикации: 24.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Changes in agrochemical indicators of light gray forest soil and productivity of meadow clover depending on the level of mineral nutrition against the background of the aftereffect of liming in the conditions of the South-East of the Volga-Vyatka region

© 2022. Alexey V. Ivenin[✉], Alexander P. Sakov, Yulia A. Bogomolova, Tatiana S. Buzynina

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

The research was carried out in a long-term stationary experiment, launched in 1978 on light gray forest soil in the conditions of the Nizhny Novgorod region. In 2020–2021, the effectiveness of various doses of mineral fertilizers ($N_0P_0K_0$, $N_{15}P_{40}K_{60}$, $N_{30}P_{80}K_{120}$, $N_{45}P_{120}K_{180}$) was studied against the background of liming when laying the experiment (in doses 0; 0.5; 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 of hydrolytic acidity) on the yield of meadow clover Martum of the 1st and 2nd years of use. It has been established that the studied lime doses introduced in 1978, by August 2021 had not affected the change in agrochemical parameters of light gray forest soil (acidity, content of mobile forms of phosphorus and potassium, humus) and the yield of meadow clover of the 1st and 2nd year of use. A long-term use (1978–2021) of single and double doses of mineral fertilizers did not provide the accumulation of humus, mobile forms of phosphorus and potassium as compared to their initial content in arable layer of light gray forest soil. Increased content of mobile forms of phosphorus and potassium (P_2O_5 per 34.1 mg/kg, K_2O per 22.3 mg/kg) was observed by long-term application of three-fold doses of mineral fertilizers. Application of mineral fertilizers in a dose of $N_{45}P_{120}K_{180}$ enabled to obtain 36.5 and 37.9 t/ha of green mass during the 1st and the 2nd year of use and the highest total yield of 74.4 t/ha that is 12.0–22.2 t/ha higher than the control and all the rest variants of mineral fertilizers application.

Keywords: *Trifolium pratense* L., mobile potassium, mobile phosphorus, humus, lime, productivity, mineral fertilizers, long-term stationary experiment

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

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

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

For citations: Ivenin A. V., Sakov A. P., Bogomolova Yu. A., Buzynina T. S. Changes in agrochemical indicators of light gray forest soil and productivity of meadow clover (*Trifolium pratense*) depending on the level of mineral nutrition against the background of the aftereffect of liming in the conditions of the South-East of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):378-385. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.378-385>

Received: 04.02.2022

Accepted for publication: 23.05.2022

Published online: 23.06.2022

Важным условием ведения современного сельскохозяйственного производства является получение не только стабильно высоких урожаев возделываемых культур, но и сохранение почвенного плодородия [1, 2]. Это возможно только при строгом соблюдении производственных технологий с применением, в том числе, и современных средств химизации (минеральных удобрений, известковых материалов и т. п.) [3, 4, 5].

Проведение известкования кислых почв с внесением минеральных удобрений является важным приемом комплексной мелиорации. Избыточная кислотность среды – одна из главных причин низкой продуктивности сельскохозяйственных культур. В частности, растения клевера лугового на кислых почвах плохо растут и изреживаются при перезимовке. Кроме того, кислая реакция среды оказывает отрицательное влияние на доступность элементов питания из почвы. Растения клевера способны частично усваивать, в симбиозе с клубеньковыми бактериями, атмосферный азот. Но при повышенной кислотности почвы происходит угнетение развития почвенной микрофлоры (в том числе и клубеньковых бактерий). В этой связи мероприятия, направленные на оптимизацию кислотности почвы не только актуальны, но и необходимы [6, 7].

Основным источником элементов питания растений (кроме доступных форм, содержащихся в почвах) остаются минеральные удобрения, применение которых, в первую очередь, и обеспечивает стабильно высокие урожаи сельскохозяйственных культур и повышение плодородия почвы [8, 9].

Поэтому возникает необходимость в стабилизации урожайности сельскохозяйственных культур и плодородия почвы путем оптимизации применения средств химизации, в частности, минеральных удобрений и известковых материалов [10, 11].

Цель исследований – изучить влияние минеральных удобрений и последствия различных доз извести на продуктивность клевера лугового и изменение агрохимических показателей светло-серой лесной почвы в условиях Нижегородской области (юго-восток Волго-Вятского региона).

Новизна исследований заключается в получении экспериментальных данных для оценки плодородия серых лесных почв при их длительном сельскохозяйственном использовании с различной интенсивностью агрохимической нагрузки, а также в выявлении высокоэффективных доз применения минеральных удобрений в посевах клевера 1 и 2 г. п. с учетом почвенно-климатических особенностей Нижегородской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2020-2021 гг. в длительном стационарном опыте, заложенном в 1978 г. на опытном поле Нижегородского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Стационар включен в Реестр длительных полевых опытов Россельхозакадемии (№ 073) и является достоянием российской аграрной науки, имеет аттестат и строго регламентированную методику проведения.

Почва опытного участка светло-серая лесная легкосуглинистая по гранулометрическому составу, на момент закладки опыта (1978 г.) – сильнокислая ($pH_{kcl} = 4,3$), высокообеспеченная подвижными формами фосфора (252,0 мг/кг) и калия (225,0 мг/кг), слабогумусированная (1,60 %).

Сельскохозяйственные культуры изучаются в ротации восьмипольного севооборота: викоовсяная смесь + клевер; клевер 1, 2, 3 г. п.; озимая пшеница; картофель; яровая пшеница; ячмень.

Опыт проводили по следующей схеме: Фактор А – дозы минеральных удобрений (вносимых под клевер 1 и 2 г. п.): $N_0P_0K_0$ (контроль),

$N_{15}P_{40}K_{60}$ (одинарная), $N_{30}P_{80}K_{120}$ (двойная), $N_{60}P_{160}K_{180}$ (тройная); Фактор В – известкование в дозах 0; 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; 2,5 гидrolитической кислотности (г. к.). Известкование проведено доломитовой мукой, внесенной при закладке опыта в 1978 году.

Полевой опыт включает 24 варианта, повторность – 4-кратная, расположение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки 108,0 м², учетная – 64,0 м².

В 2019 г. началась шестая ротация севооборота: возделывание викоовсяной смеси с одновременным подсевом клевера. В 2020-2021 гг. в полевом опыте проводили наблюдения и исследования в посевах клевера лугового Мартум 1 и 2 г. п. Сорт клевера Мартум – среднеранний двуукосный. Период от весеннего отрастания до цветения – 50-78 суток, до созревания семян – 102-116 суток. Высота растений в первом укосе – 51-76 см, во втором – 29-50 см. Масса 1000 семян 1,8-2,1 г. Зимостойкость высокая. Включен в Государственный реестр селекционных достижений Российской Федерации с 1999 г., допущен к использованию в производстве по Центральному, Волго-Вятскому, Средневолжскому и Дальневосточному регионам.

Агротехника возделывания клевера: семена подсеивались одновременно с севом покровной культуры, викоовсяной смеси в 2019 г., внесение минеральных удобрений проводили согласно схеме опыта вразброс вручную: в 2020-2021 гг. (20 апреля) по пласту клевера 1 и 2 г. п. с заделкой зубовой бороной БЗСС-1,0 на глубину 4-6 см. Минеральные удобрения: диаммофоска ($N:P_2O_5:K_2O = 10:26:26\%$) и хлористый калий (60 % K_2O). Уборку клевера путем скашивания зеленой массы проводили роторной косилкой КРН-2,1 в период от бутонизации до начала цветения (18 июня в 2020 г. и 15 июня в 2021 г.). Зеленую массу клевера учитывали сплошным методом с пересчетом на абсолютно сухое вещество.

Отбор почвенных образцов для проведения агрохимических анализов осуществляли 25 августа в 2020 и 2021 гг. Содержание подвижных форм фосфора и калия определяли по методике Кирсанова ГОСТ Р 54650-2011, гумуса – по Тюрину. Математическая обработка результатов исследований проведена

по Б. А. Доспехову¹ с использованием программы статистической обработки Statist.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия вегетационного периода 2020 г. полностью соответствовали требованиям роста и развития растений клевера 1 г. п., ГТК Селянинова составил величину 1,41 (при среднемноголетнем значении 1,24). Погодные условия вегетационного периода 2021 г. были в целом неблагоприятны (ГТК = 0,70), при этом ГТК за первую декаду июня (2,0) был выше средних многолетних значений июня (1,30). Но, несмотря на неравномерность выпадения осадков в 2021 г., погодные условия в целом за вегетацию позволили сформировать урожай зеленой массы клевера 2 г. п. на уровне 2020 года.

К моменту посева клевера под покров викоовсяной смеси в 2019 г. обменная кислотность почвы по вариантам полевого опыта находилась в интервале 4,12-4,35 единиц pH_{KCl} , на уровне исходных показателей при закладке опыта. Таким образом, последствий от внесенных в 1978 г. доз извести уже не наблюдалось как по показателям обменной кислотности, так и обеспеченности почвы подвижными формами фосфора и калия: среднее содержание P_2O_5 находилось в интервале 218,8-245,8 мг/кг почвы ($HCP_{05} = 32,0$ мг/кг) в слое 0-20 см и 178,4-189,9 мг/кг почвы ($HCP_{05} = 32,4$ мг/кг) в слое 20-40 см; K_2O – 195,9-228,3 мг/кг почвы ($HCP_{05} = 52,4$ мг/кг) в слое 0-20 см и 180,9-197,5 мг/кг почвы ($HCP_{05} = 49,9$ мг/кг) в слое 20-40 см (табл. 1, 2).

Длительное (с 1978 года) применение изучаемых доз минеральных удобрений позволило повысить среднее содержание подвижного фосфора по сравнению с вариантом без внесения удобрений (контроль) на 46,0-113,8 мг/кг почвы ($HCP_{05} = 26,1$ мг/кг) в слое 0-20 см (табл. 1). Применение двойных и тройных доз минеральных удобрений привело к обогащению подвижными фосфатами слоя почвы 20-40 см по сравнению с контролем и вариантом внесения одинарных доз NPK (табл. 2).

Длительное применение тройных доз минеральных удобрений позволило повысить среднее содержание подвижного калия по сравнению с вариантом без применения минеральных удобрений (контроль) на 67,6 мг/кг почвы ($HCP_{05} = 42,8$ мг/кг) в 0-20 см (табл. 1).

¹Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1 – Влияние удобрений и последствие известкования на агрохимические показатели почвы в слое 0-20 см (среднее за 2020-2021 гг.) /

Table 1 – The effect of fertilizers and the aftereffect of liming on the agrochemical parameters of the soil in a layer of 0-20 cm (average for 2020-2021)

Фон NPK (фактор A) / Background NPK (factor A)	Доза CaCO ₃ , г. к. (фактор B) / Dose of CaCO ₃ , h. a. (factor B)						Среднее по фактору A / Average by factor A	HCP ₀₅ (фактор A) / LSD ₀₅ (factor A)
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы / P ₂ O ₅ , mg/kg of soil								
N ₀ P ₀ K ₀	194,3	185,1	154,2	166,0	166,7	167,2	172,3	26,1
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	238,5	214,1	234,4	204,5	176,2	242,3	218,3	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	249,0	253,0	256,4	269,4	254,8	263,5	257,7	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	301,4	290,4	271,2	292,5	277,3	283,6	286,1	
Среднее по фактору B / Average by factor B	245,8	235,7	229,1	233,1	218,8	239,2	-	
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)					32,0			
HCP ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)					64,0			
K ₂ O, мг/кг почвы / K ₂ O, mg/kg of soil								
N ₀ P ₀ K ₀	208,6	197,7	166,0	163,0	166,5	176,5	179,7	42,8
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	244,5	179,5	197,5	237,3	205,6	167,4	205,3	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	250,5	204,5	216,0	239,6	218,4	176,3	217,6	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	209,6	201,8	238,5	273,0	252,5	308,5	247,3	
Среднее по фактору B / Average by factor B	228,3	195,9	204,5	228,2	210,8	207,2	-	
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)					52,4			
HCP ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)					104,9			
Гумус, % / Humus, %								
N ₀ P ₀ K ₀	1,65	1,48	1,42	1,35	1,51	1,55	1,49	0,12
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	1,42	1,44	1,36	1,48	1,40	1,67	1,46	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	1,39	1,56	1,70	1,48	1,35	1,68	1,53	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	1,67	1,64	1,46	1,35	1,58	1,61	1,55	
Среднее по фактору B / Average by factor B	1,53	1,53	1,49	1,42	1,46	1,62	-	
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)					0,21			
HCP ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)					0,36			

Гумус является одним из основных показателей почвенного плодородия, его содержание в почве величина относительно стабильная. Существенных различий в изменении данного показателя плодородия почвы не выявлено ни в одном из вариантов как в пахотном, так и подпахотных горизонтах. Содержание гумуса в слое 0-20 см находилось в интервале 1,35...1,70 % (HCP₀₅ факторов AB = 0,36 %), в 20-40 см – 0,80...1,25 % (HCP₀₅ факторов AB = 0,46 %) (табл. 1, 2).

Обобщая результаты исследований, можно констатировать, что к августу 2021 года по истечении изучаемого периода времени ротации севооборота в пахотном слое почвы (0-20 см) содержание подвижных форм фосфора и калия, гумуса в вариантах опыта без внесения удобрений снизилось по сравнению с содержанием на момент его закладки: P₂O₅ – на 79,7 мг/кг (в 1978 г. – 252,0 мг/кг), K₂O – на 45,3 мг/кг (в 1978 г. – 225,0 мг/кг) и гумуса – на 0,11 % (в 1978 г. – 1,60 %).

Таблица 2 – Влияние удобрений и последействия известкования на агрохимические показатели почвы в слое 20-40 см (среднее за 2020-2021 гг.) /

Table 2 – The effect of fertilizers and the aftereffect of liming on the agrochemical parameters of the soil in a layer of 20-40 cm (average for 2020-2021)

Фон NPK (фактор A) / Background NPK (Factor A)	Доза CaCO ₃ , г. к. (фактор B) / Dose of CaCO ₃ h. a., (factor B)						Среднее по фактору A / Average by factor A	HCP ₀₅ (фактор A) / LSD ₀₅ (factor A)
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
P ₂ O ₅ , мг/кг почвы / P ₂ O ₅ , mg/kg of soil								
N ₀ P ₀ K ₀	172,5	159,7	144,6	154,3	151,5	130,1	152,1	26,4
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	156,8	168,8	177,1	187,5	143,9	177,0	168,5	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	189,0	191,2	192,8	183,5	222,4	193,0	195,3	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	220,1	240,2	199,0	215,5	219,7	241,7	222,7	
Среднее по фактору B / Average by factor B	184,6	189,9	178,4	185,2	184,4	185,5	-	
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)						32,4		
HCP ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)						64,8		
K ₂ O мг/кг почвы / K ₂ O, mg/kg of soil								
N ₀ P ₀ K ₀	203,7	212,1	174,0	185,5	166,5	171,0	185,5	40,8
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	174,0	175,0	175,5	162,5	186,7	152,9	171,1	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	186,0	205,5	197,1	198,3	165,7	145,8	183,1	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	204,1	197,5	194,0	193,0	204,5	285,5	213,1	
Среднее по фактору B / Average by factor B	192,0	197,5	185,2	184,8	180,9	188,8	-	
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)						49,9		
HCP ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)						99,8		
Гумус, % / Humus, %								
N ₀ P ₀ K ₀	1,21	1,17	1,02	0,97	0,93	1,04	1,06	0,16
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	0,95	0,92	1,04	0,98	0,88	1,35	1,02	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	1,17	1,25	0,98	0,80	1,21	0,95	1,06	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	1,18	1,18	0,98	0,87	1,04	1,23	1,08	
Среднее по фактору B / Average by factor B	1,13	1,13	1,01	0,91	1,02	1,14	-	
HCP ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)						0,25		
HCP ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)						0,46		

Длительное применение одинарных и двойных доз минеральных удобрений не обеспечивает прирост содержания в почве подвижных форм фосфора и калия. Двойная доза применяемых минеральных удобрений позволяет сохранить содержание подвижного фосфора в почве к 2021 году на исходном уровне – 257,7 мг/кг (в 1978 г. – 252,0 мг/кг). Применение тройных доз минеральных удобрений обеспечивает положительную динамику накопления подвижных форм фосфора и калия в пахотном слое почвы: P₂O₅ на 34,1 мг/кг (в 1978 г. – 252,0 мг/кг), K₂O на 22,3 мг/кг (в 1978 г. – 225,0 мг/кг) (табл. 1).

По результатам наших исследований видно, что как в 2020 г., так и в 2021 г. последействия изучаемых доз известки на уровень продуктивности клевера не обнаружено: средняя продуктивность зеленой массы (в пересчете на абсолютно сухое вещество) находится в интервале 28,0-34,2 т/га (HCP₀₅ по фактору B = 6,3 т/га) в 2020 г. и 29,6-33,3 т/га (HCP₀₅ по фактору B = 6,6 т/га). Суммарная продуктивность клевера за два года пользования, по фактору применения различных доз известкового материала, составила величину 60,6-64,7 т/га (табл. 3)

Таблица 3 – Влияние удобрений и последствие разных доз известкования на урожайность зеленой массы клевера 1 и 2 г. п. за 2020-2021 гг. (в пересчете на абсолютно сухое вещество), т/га /

Table 3 – The effect of fertilizers and the aftereffect of different doses of liming on the yield of the green mass of clover on the 1st and 2nd years of use for 2020-2021 (in terms of absolutely dry matter), t/ha

Фон NPK (фактор A) / Background NPK (factor A)	Доза CaCO ₃ , г.к. (фактор B) / Dose of CaCO ₃ , h. a (factor B)						Среднее по фактору A / Average by factor A	НСР ₀₅ (фактор A) / LSD ₀₅ (factor A)
	0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
Урожайность клевера 1 г. п. 2020 г. / The yield of clover of the 1st year of use, 2020								
N ₀ P ₀ K ₀	22,6	16,4	29,0	20,9	36,2	25,3	25,1	4,0
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	21,6	31,5	32,8	34,2	31,5	34,3	29,3	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	35,9	25,5	39,5	28,2	28,7	37,1	32,5	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	41,4	38,6	31,3	40,9	34,8	40,2	37,9	
Среднее по фактору B / Average by factor B	30,4	28,0	33,2	31,1	32,8	34,2	-	
НСР ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)					6,3			
НСР ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)					12,7			
Урожайность клевера 2 г. п. 2021 / The yield of clover of the 2 nd year of use, 2021								
N ₀ P ₀ K ₀	25,6	33,3	26,8	20,7	28,4	29,2	27,3	4,8
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	35,6	27,4	34,4	28,9	32,0	29,9	31,4	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	28,6	34,0	26,8	33,9	24,8	22,9	28,5	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	32,4	38,3	30,6	34,7	43,2	39,8	36,5	
Среднее по фактору B / Average by factor B	30,6	33,3	29,7	29,6	32,1	30,5	-	
НСР ₀₅ (фактор B) / LSD ₀₅ (factor B)					6,6			
НСР ₀₅ (факторов AB) / LSD ₀₅ (factors AB)					12,8			
Суммарная урожайность за 2020-2022 гг. / Total yield for 2020-2022								
N ₀ P ₀ K ₀	48,2	49,7	55,8	41,6	63,6	54,5	52,2	-
N ₁₅ P ₄₀ K ₆₀	57,2	58,9	67,2	63,1	63,5	64,2	62,4	
N ₃₀ P ₈₀ K ₁₂₀	64,5	59,5	66,3	62,1	53,5	60,0	60,9	
N ₆₀ P ₁₆₀ K ₁₈₀	73,8	76,9	61,9	75,6	78,0	80,0	74,4	
Среднее по фактору B / Average by factor B	60,9	61,3	62,8	60,6	64,7	64,6	-	

При благоприятных погодных условиях вегетации (2020 г., ГТК = 1,41) применение минеральных удобрений (одинарных, двойных, тройных доз) в сравнении с контрольным вариантом N₀P₀K₀ повышало среднюю урожайность зеленой массы клевера 1 г. п. на 4,2-12,8 т/га (НСР₀₅ по фактору A = 4,0), до 29,3-37,9 т/га.

В засушливых погодных условиях вегетации (2021 г., ГТК = 0,70), когда коэффициент использования элементов питания минеральных удобрений уменьшается, применение только тройных доз NPK позволило повысить среднюю урожайность зеленой массы клевера 2 г.п. по сравнению с контролем без удобрений и вариантами внесения одинарных

и двойных доз NPK на 5,1-9,2 т/га (НСР₀₅ по фактору A = 4,8 т/га), до 36,5 т/га.

Тройные дозы минеральных удобрений обеспечили самую высокую среднюю суммарную продуктивность клевера за два года применения – 74,4 т/га, что на 12,0-22,2 т/га выше контроля и остальных изучаемых вариантов внесения минеральных удобрений (табл. 3).

Заключение. Выявлено, что в условиях Нижегородской области дозы извести, внесенные в 1978 г., к августу 2021 года не влияли на изменение агрохимических показателей светло-серой лесной почвы (кислотность, содержание подвижных форм фосфора и калия, гумуса) и урожайность клевера лугового Мартум 1 и 2 г. п.

Установлено, что длительное применение (1978-2021 гг.) одинарных и двойных доз минеральных удобрений не обеспечило накопления гумуса, подвижных форм фосфора и калия по сравнению с их исходным содержанием в пахотном слое светло-серой лесной почвы. Увеличение содержания подвижных форм фосфора и калия (P_2O_5 – на 34,1 мг/кг, K_2O – на 22,3 мг/кг) наблюдалось при дли-

тельном внесении тройных доз минеральных удобрений.

На светло-серых лесных почвах Нижегородской области (юго-восток Волго-Вятского региона) применение в посевах клевера Мартум 1 и 2 г. п. минеральных удобрений в дозе $N_{45}P_{120}K_{180}$ позволило получить 36,5 и 37,9 т/га зеленой массы и самую высокую суммарную урожайность за два года пользования – 74,4 т/га.

Список литературы

1. Гладышева О. В., Свирина В. А., Артюхова О. А. Влияние севооборотов и минеральных удобрений на гумусное состояние почвы в длительном стационарном опыте. *Аграрная наука*. 2020;(10):83-87. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-83-87>
2. Карабутов А. П., Соловichenko В. Д., Никитин В. В., Навольнева Е. В. Воспроизводство плодородия почв, продуктивность и энергетическая эффективность севооборотов. *Земледелие*. 2019;(2):3-7. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>
3. Шаповалова Н. Н., Менькина Е. А. Агрохимическое состояние и биологическая активность почвы в последствии длительного применения минеральных удобрений. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018;(5(73)):43-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36394582>
4. Комиссарова В. С., Богомолова Ю. А., Сябаева А. О. Влияние длительного последствия известкования и систематического применения удобрений на кислотность светло-серой лесной почвы. *Плодородие*. 2018;(2(101)):6-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35176663>
5. Тиранова Л. В., Тиранов А. Б. Эффективность комплексного использования минеральных и микробиологических удобрений на урожайность озимой ржи в условиях Новгородской области. *Аграрная наука*. 2021;(2):81-83. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-345-2-81-83>
6. Борисова Е. Е. Роль клевера лугового в экологизации и биологизации земледелия. *Символ науки: Международный научный журнал*. 2016;(4-4(16)):56-61. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25948851>
7. Сирокин И. Б., Сиротина Е. А. Известкование - один из факторов повышения плодородия почв Томской области. *Агрохимический вестник*. 2019;(1):7-10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36984579>
8. Ивенин В. В., Михалев Е. В., Кривенков В. А. Эффективность возделывания пшеницы яровой на фоне полного минерального удобрения при внедрении ресурсосберегающей технологии No-till в зернотравяном севообороте на светло-серых лесных почвах Нижегородской области. *Аграрная наука*. 2017;(11-12):22-25. Режим доступа: <https://www.vetpress.ru/jour/article/view/134>
9. Ивенин В. В., Ивенин А. В., Шубина К. В., Минеева Н. А. Сравнительная эффективность технологий возделывания зерновых культур в звене севооборота на светло-серых почвах Волго-Вятского региона. *Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018;(3(6)):27-31.
10. Биккинина Л. М.-Х., Яппаров И. А., Ломако Е. И., Алиев Ш. А., Газизов Р. Р., Суханова И. М., Ильясов М. М. Химическая мелиорация в условиях безотвальной системы основной обработки почвы. *Достижения науки и техники АПК*. 2018;32(9):5-8. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10901>
11. Кодочилова Н. А., Бузынина Т. С., Варламова Л. Д., Катерова Е. А. Влияние систематического внесения минеральных удобрений и длительного последствия известкования на органическое вещество светло-серой лесной почвы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2020; 21(2): 160-168. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.160-168>

References

1. Gladysheva O. V., Svirina V. A., Artyukhova O. A. Influence of crop rotations and mineral fertilizers on the humus state of the soil in a long-term stationary experiment. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2020;(10):83-87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-342-10-83-87>
2. Karabutov A. P., Solovichenko V. D., Nikitin V. V., Navolneva E. V. Reproduction of soil fertility, productivity and energy efficiency of crop rotations. *Zemledelie*. 2019;(2):3-7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2019-10201>
3. Shapovalova N. N., Menkina E. A. Agrochemical state and biological activity of soil conditioned by the effect of long-term application of mineral fertilizers. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;(5(73)):43-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36394582>
4. Komissarova V. S., Bogomolova Yu. A., Syubaeva A. O. The influence of long after-effect of liming and systematic application of mineral fertilizers on the acidity indicators of light-grey forest soil. *Plodorodie*. 2018;(2(101)):6-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35176663>
5. Tiranova L.V., Tiranov A.B. Efficiency of integrated use of mineral and microbiological fertilizers on winter rye yield in the Novgorod region. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2021;(2):81-83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-345-2-81-83>

6. Borisova E. E. The role of meadow clover in ecologization and biologization of agriculture. Simvol nauki: Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2016;(4-4(16)):56-61. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25948851>
7. Sirokin I. B., Sirotina E. A. Liming of acid soils – improvement of soil fertility in the Tomsk region. Agrokhimicheskii vestnik = Agrochemical Herald. 2019;(1):7-10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36984579>
8. Ivenin V. V., Mikhalev E. V., Krivenkov V. A. Efficiency of spring wheat cultivation on the background of full mineral fertilizer with the introduction of resource-savin No-till technology in grain-grass crop rotation on light gray forest soils of nizhny Novgorod region. Agramaya nauka = Agrarian science. 2017;(11-12):22-24. (In Russ.). URL: <https://www.vetpress.ru/jour/article/view/134>
9. Ivenin V. V., Ivenin A. V., Shubina K. V., Mineeva N. A. Comparative efficiency of technologies of cultivation of grain crops in the crop rotation link on light grey forest soils of the Volga-Vyatka region. Vestnik Chuvashskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik Chuvash State Agricultural Academy. 2018;(3(6)):27-31. (In Russ.).
10. Bikkina L. M.-Kh., Yapparov I. A., Lomako E. I., Aliev Sh. A., Gazizov R. R., Sukhanova I. M., Iliasov M. M. Chemical amelioration under conditions of nonmoldboard tillage system. Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(9):5-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10901>
11. Kodochilova N. A., Buzynina T. S., Varlamova L. D., Katerova E. A. Effect of systematic application of mineral fertilizers and long-term aftereffect of liming on the organic matter of light-grey forest soil. Agramaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(2):160-168. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.160-168>

Сведения об авторах

✉ **Ивенин Алексей Валентинович**, доктор с.-х. наук, доцент, ст. научный сотрудник, Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», с.п. Селекционной Станции, д.38, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7072-4029>, e-mail: a.v.ivenin@mail.ru

Саков Александр Петрович, кандидат с.-х. наук, директор, Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», с.п. Селекционной Станции, д.38, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1288-5988>

Богомолова Юлия Александровна, кандидат с.-х. наук, доцент, ст. научный сотрудник, Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», с.п. Селекционной Станции, д.38, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3727-1157>

Бузынина Татьяна Сергеевна, лаборант-исследователь, мл. научный сотрудник, Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», с.п. Селекционной Станции, д.38, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3113>

Information about the authors

✉ **Alexey V. Ivenin**, DSc in Agricultural Science, associate professor, senior researcher, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, s.p. Breeding Station, 38, Kstovsky district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7072-4029>, e-mail: a.v.ivenin@mail.ru

Alexander P. Sakov, PhD in Agricultural Science, Director, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, s.p. Breeding Station, 38, Kstovsky District, Nizhny Novgorod Region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1288-5988>

Yulia Al. Bogomolova, PhD in Agricultural Science, associate professor, senior researcher, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, s.p. Breeding Station, 38, Kstovsky district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3727-1157>

Tatiana S. Buzynina, research assistant, junior researcher, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, s.p. Breeding Station, 38, Kstovsky district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4027-3113>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.386-394>

УДК 636.22/28:636.082

Оценка влияния родственного спаривания на молочную продуктивность голштинских коров

© 2022. О. В. Руденко ✉

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

Инбридинг на сегодняшний день является неотъемлемой частью племенной работы. Однако его действие на хозяйственно полезные качества животных весьма неоднозначное. Исследования проводили в ООО «ПЗ «Пушкинское» Большеболдинского района Нижегородской области. Данные получены из первичного зоотехнического учёта и базы данных ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот ($n = 950$). Животные разделены на 4 группы в зависимости от степени инбридинга. Максимальный удой имели коровы с близкой степенью инбридинга (9877,9 кг), минимальный – с умеренной степенью (9338,11 кг). Увеличение степени инбридинга оказало отрицательное влияние на показатель содержания жира в молоке, что привело к его снижению с 3,85 % в группе с аутбредными животными до 3,64 % в группе с близкой степенью инбридинга. Значимых различий по содержанию белка в молоке между группами нет. Коэффициент устойчивости лактации уменьшается по мере увеличения степени инбридинга. Коэффициент изменчивости удоя у животных с близкой степенью инбридинга ниже остальных групп (10,53 %), по жирномолочности во всех группах коэффициент колеблется около 5,0 %, а по содержанию белка в молоке 1,3-2,2 %. Отдалённый и умеренный инбридинг имеет слабую положительную связь с удоём ($r = +0,015$ и $+0,028$), близкий ведёт к его снижению ($r = -0,098$). Внутри групп, имеющих инбредные связи, повышение степени инбридинга приводит к очень слабому увеличению жирномолочности ($r = +0,016-0,129$) и коэффициенту устойчивости лактации ($r = +0,063-0,164$), влияние степени инбридинга на содержание белка в молоке не однозначно. Связь между удоём и жирномолочностью у аутбредных животных слабая положительная ($r = +0,26$), у коров с умеренной и отдалённой степенями инбридинга слабая отрицательная ($r = +0,057-0,121$), в группе с близкой степенью она становится тесной отрицательной ($r = -0,677$).

Ключевые слова: крупный рогатый скот, инбридинг, удой, жирномолочность, вариация, корреляционные отношения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0003).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Руденко О. В. Оценка влияния родственного спаривания на молочную продуктивность голштинских коров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):386-394.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.386-394>

Поступила: 07.03.2022

Принята к публикации: 27.04.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Evaluation of the inbreeding effect on the milk productivity of Holstein cows

© 2022. Oksana V. Rudenko ✉

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

Inbreeding is an integral part of breeding work today. However, its effect on the economically valuable traits of animals is not identical. The research was carried out in LLC "Breeding plant «Pushkinskoe» Bolsheboldinsky district of the Nizhny Novgorod region. The data have been obtained from the primary zootechnical records and database «SELEX» – Dairy cattle ($n = 950$). The animals were divided into 4 groups depending on the degree of inbreeding. Cows with the close degree of inbreeding had the maximum milk yield (9877.9 kg), those with the mild degree had minimal milk yield (9338.11 kg). An increase in the degree of inbreeding had a negative effect on the fat content in milk, which led to its decrease from 3.85 % in the group with outbred animals to 3.64 % in the group with the close degree of inbreeding. There were no significant differences in the protein content in milk between the groups. The lactation stability coefficient decreases as the degree of inbreeding increases. The variability coefficient of milk yield in animals with the close degree of inbreeding is lower than the other groups (10.53 %), the coefficient varies within 5 % according to the fat content in all groups and in terms of protein content in milk within 1.3-2.2 %. Distant and mild inbreeding has a weak positive relationship with milk yield ($r = +0.015$ and $+0.028$), close inbreeding leads to its decrease ($r = -0.098$). Inside the groups, having inbred connections, an increase in the inbreeding degree leads to a very slight increase in fat content ($r = +0.016-0.129$) and the lactation stability coefficient ($r = +0.063-0.164$), the influence of the degree of inbreeding on the protein content in milk is not identical. The relationship

between milk yield and fat content in outbred animals is weakly positive ($r = +0.26$), in cows with mild and distant degree of inbreeding is weakly negative ($r = +0.057-0.121$), in the group with a close degree it becomes closely negative ($r = -0.677$).

Keywords: cattle, inbreeding, milk yield, milk fat content, variation, correlation relations

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0003).

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

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

For citations: Rudenko O. V. Evaluation of the inbreeding effect on the milk productivity of Holstein cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):386-394. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.386-394>

Received: 07.03.2022

Accepted for publication: 27.04.2022

Published online: 23.06.2022

Инбридинг – одна из проблем современного скотоводства по причине того, что многие выдающиеся быки-производители являются родственниками. Данная ситуация усугубляется широким распространением в практике скотоводства искусственного осеменения [1]. Поэтому инбридинг на сегодняшний день является неотъемлемой частью современного разведения животных. Однако использовать его рекомендовано только племенным предприятиям строго индивидуально при необходимости закрепления каких-либо ценных свойств [2]. При таком использовании его можно рассматривать как целесообразное селекционное мероприятие, позволяющее создать однотипных животных, в которых закрепляются необходимые хозяйственно полезные признаки, унаследованные от ценного предка [3]. Это один из основных зоотехнических приёмов получения выдающихся быков-производителей, препотентных по племенной ценности [4]. При этом многими авторами доказано, что систематическое применение инбридинга может привести к инбредной депрессии, которая снижает жизнеспособность, продуктивность и воспроизводительные функции животных. [5, 6]. Например, по данным Н. Р. Doeke [7], увеличение гомозиготности по всему геному на 1 % было связано со снижением удоя молока за 305 дней лактации примерно на 99 кг. В исследованиях В. О. Макапюла и др. [8] также установлены вредные последствия близкого и тесного инбридинга.

Традиционно расчёт коэффициента инбридинга осуществляют с использованием родословных записей. Однако современная молекулярная генетика позволяет идентифицировать в геноме животных протяжённые гомозиготные районы (ROH), свидетельствующие о наличии родственных спариваний в родословной [9, 10, 11]. Использование подхода ROH, по мнению М. Forutan и др. [12], также позволило оценить влияние структуры

популяции и отбора на распределение пробегов аутозиготности по всему геному. М. Г. Смаградов, А. А. Кудинов [13] предлагают использовать для этой цели анализ однонуклеотидного полиморфизма в ДНК (SNP), они утверждают, что этот метод более точен, так как он опирается на реальные геномные данные, а не на вероятностные расчёты из родословных. Кроме того, геномная информация позволяет дополнять оценки родства или инбридинга в масштабах всего генома для характеристики отношений для конкретных областей генома [14].

Цель исследований – изучить влияние различных степеней инбридинга на молочную продуктивность голштинских коров, а также на селекционно-генетические параметры стада.

Научная новизна – впервые проведена комплексная оценка влияния разных степеней инбридинга на продуктивные показатели и основные селекционно-генетические параметры исследуемых групп коров голштинской породы в условиях хозяйств Нижегородской области.

Материал и методы. Исследования проведены на базе ООО «ПЗ «Пушкинское» Большеболдинского района Нижегородской области, объект – коровы голштинской породы 950 голов. Данные получены из журналов первичного зоотехнического учёта и базы данных ИАС «СЕЛЭКС» – Молочный скот. Коэффициент инбридинга рассчитан по формуле Райта-Кисловского, степень инбридинга определяли по Пушу.

Животные были разделены на четыре группы по степени инбридинга:

1 – аутбредные (коэффициент инбридинга 0 %) – 478 голов;

2 – отдаленный (коэффициент инбридинга от 0,2 до 1,55 %) – 264 головы;

3 – умеренный (коэффициент инбридинга от 1,56 до 12,5 %) – 193 головы;

4 – близкий (коэффициент инбридинга от 12,6 до 24,9 %) – 15 голов.

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы Microsoft Excel-365. Влияние степени инбридинга на показатели молочной продуктивности коров определяли однофакторным дисперсионным анализом. Статистическую значимость разницы между показателями групп определяли по критерию Ньюмана-Кейлса для множественного сравнения, достоверность коэффициента корреляции – по критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. На молочную продуктивность коров оказывает влияние множество факторов, такие как наследственность, порода, физиологическое состояние, стадия лактации, возраст, содержание и кормление, технология доения. Принято считать, что молочная продуктивность коров зависит на 60 % от полноценности кормления, на 20 %

– от условий содержания и на 20 % – от племенной работы, проводимой в хозяйстве.

По результатам оценки животных по молочной продуктивности можно отметить некоторые небольшие различия между группами (табл. 1). Незначительное превосходство по показателю «удой» прослеживается в пользу коров с близкой степенью инбридинга – 9877,9 кг, группа аутбридинга имеет почти такой же результат 9797,3 кг, что меньше на 80,6 кг. Самый низкий удой в группе с умеренной степенью инбридинга – 9338,1 кг. Дисперсионным анализом установлено очень незначительное, но статистически значимое влияние фактора «степень инбридинга» на удой за 305 дней первой лактации $\eta^2_x = 2,18\%$ ($p < 0,05$). Статистически значимую разницу установили только между группами аутбридинга и с умеренной степенью ($p < 0,01$).

Таблица 1 – Показатели молочной продуктивности коров за 1 лактацию, $X \pm m$ /
Table 1 – Indicators of milk productivity of cows for the 1st lactation, $X \pm m$

Степень инбридинга / Degree of inbreeding	Удой, кг / Milk yield, kg	Массовая доля жира в молоке, % / Mass fraction of fat in milk, %	Молочный жир, кг / Milk fat, kg	Массовая доля белка в молоке, % / Mass fraction of protein in milk, %	Коэффициент устойчивости лактации, % / Lactation stability coefficient, %	Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk flow rate, kg/min
Аутбридинг / Outbreeding	9797,33±138,63	3,85±0,02 ^б	377,31±5,91	3,21±0,01	92,79±1,33	2,23±0,001
Отдаленный / Distant	9542,81±84,75	3,81±0,01 ^б	363,55±3,36	3,21±0,01	94,12±0,72	2,26±0,001 ^а
Умеренный / Mild	9338,11±108,06 ^а	3,84±0,02 ^б	358,86±4,40	3,22±0,01	93,78±0,85	2,25±0,014
Близкий / Close	9877,9±329,05	3,64±0,06	358,28±9,22	3,22±0,02	91,25±3,18	2,26±0,011

Примечание: различия статистически значимы по отношению: к группе аутбредных животных при ^а $p < 0,05$; к группе животных с близким инбридингом при ^б $p < 0,01$ /

Note: the differences are statistically significant in relation to the group of outbred animals at ^а $p < 0.05$; in relation to the group animals with close inbreeding at ^б $p < 0.01$

Увеличение степени инбридинга оказало отрицательное влияние на показатель содержания жира в молоке, что привело к его снижению с 3,85% в группе с аутбредными животными до 3,64 % в группе с близкой степенью инбридинга. Все инбредные животные уступали аутбредным по содержанию жира от 0,01 до 0,21 % за первую лактацию. Влияние фактора подтверждается дисперсионным анализом, которым установлена сила влияния $\eta^2_x = 3,39\%$ ($p < 0,01$). Группа с близкой степенью инбридинга статистически значимо отли-

чалась от других ($p < 0,01$), остальные группы не имели значимых различий между собой.

Группы животных с аутбридингом и отдаленной степенью инбридинга имеют фактическое превосходство по количеству молочного жира в сравнении с группами с близкой и умеренной степенями инбридинга примерно на 11,9 кг, но эта разница между ними незначительная и влияние фактора не установлено.

Во всех группах практически одинаковый показатель по содержанию белка в молоке, разница всего на 0,01 % — это незначительно

и варьирует в пределах среднеарифметической ошибки и не является статистически значимым.

Можно отметить, что коэффициент устойчивости лактации уменьшается по мере увеличения степени инбридинга, максимальный показатель зафиксирован в группе с отдаленной степенью инбридинга – 94,12 %, минимальный – в группе с близкой степенью (91,25 %), таким образом, разница между крайними группами составила 2,87 %. Данная разница невелика, и проведенным однофакторным дисперсионным анализом влияние степени инбридинга на коэффициент устойчивости лактации не установлено.

Хотя разница по скорости молокоотдачи между группами небольшая 0,01-0,03 кг/мин, но сила влияния степени инбридинга на этот показатель подтверждается дисперсионным анализом $\eta^2_x = 1,87\%$ ($p < 0,05$). Статистически значимо различаются группы аутбридинга и с отдалённой степенью инбридинга ($p < 0,05$), между остальными группами значимой разницы не установлено.

Таким образом, коровы, полученные с применением инбридинга, незначительно превосходят своих аутбредных сверстниц только по удою и скорости молокоотдачи, при этом наблюдается ухудшение жирномолочности коров.

Коэффициенты изменчивости селекционных признаков имеют большое практическое значение при составлении племенных и генетических планов работы с животными [15]. В наших исследованиях коэффициент изменчивости удоя у инбредных животных выше (кроме группы с близкой степенью инбридинга), чем у аутбредных, о чём свидетельствуют величины коэффициента вариации. В группе с близкой степенью инбридинга самый маленький коэффициент – 10,53 %, что на 1,05 % меньше, чем в группе аутбредных животных, и на 1,77 % – с умеренным инбридингом (табл. 2). Сокращение разнообразия мы связываем с малочисленностью группы близкого инбридинга, всего 15 голов.

Таблица 2 – Коэффициент изменчивости показателей молочной продуктивности коров за 1 лактацию, % /
Table 2 – Variability coefficient of indicators of milk productivity of cows for the 1st lactation, %

<i>Степень инбридинга / Degree of inbreeding</i>	<i>Удой / Milk yield</i>	<i>Массовая доля жира в молоке / Mass fraction of fat in milk</i>	<i>Молочный жир / Milk fat</i>	<i>Массовая доля белка в молоке / Mass fraction of protein in milk</i>	<i>Коэффициент устойчивости лактации / Lactation stability coefficient</i>	<i>Скорость молокоотдачи / Milk flow rate</i>
Аутбридинг / Outbreeding	11,58	5,01	12,81	1,33	12,13	1,44
Отдаленный / Distant	11,68	5,09	12,16	2,20	10,78	3,10
Умеренный / Mild	12,30	4,80	13,04	2,25	10,53	2,90
Близкий / Close	10,53	5,09	8,14	1,98	12,07	1,93

Полученные результаты также указывают, что животные во всех группах практически однотипные по содержанию жира в молоке, о чем свидетельствуют коэффициенты вариации около 5,0 % с небольшими отклонениями. Незначительная вариабельность жирности молока объясняется более высокой генетической детерминацией, консервативностью наследственности этого признака.

По показателю «молочный жир» за первую лактацию в группе с близкой степенью инбридинга находятся более похожие друг на друга животные, коэффициент вариации в этой группе равен 8,14 %, что в среднем на 4,53 % меньше, чем в других группах.

Резкое сокращение вариабельности данного признака, как и для удоя, можно считать небольшим поголовье в этой группе.

В ходе исследований установлено, что у аутбредных коров коэффициент вариации по содержанию белка в молоке составляет 1,33 %, что ниже на 0,65; 0,87 и 0,92 %, чем в группах с отдалённым, умеренным и близким инбридингом соответственно. Также коэффициент изменчивости у аутбредных животных меньше, чем у инбредных по скорости молокоотдачи на 0,49; 1,46 и 1,66 %. Ещё Ч. Дарвин, а затем Д. А. Кисловский отмечали, что при повторении ряда близких родственных спариваний

однородная группа разделяется на отдельные различия со специфическими особенностями. В нашем исследовании даже при однократном близком инбридинге наблюдается тенденция к увеличению фенотипической изменчивости внутри групп инбредного потомства.

Проведенные исследования показали, что более низкий коэффициент изменчивости коэффициента устойчивости лактации выявлен у групп с умеренной и отдаленной степенью инбридинга, равный 10,53 и 10,78 % соответственно, в группе с аутбредными животными самый высокий – 12,13 %. Таким образом, применение инбридинга привело к формированию более однородных животных по данному показателю.

Полученные коэффициенты изменчивости указывают на возможность дальнейшей

племенной работы в направлении повышения как удою коров, так и качественных показателей молока.

Отдаленная степень инбридинга практически не влияет на показатели молочной продуктивности коров. Была выявлена только слабая положительная связь на коэффициент устойчивости лактации $r = +0,113$, но этот коэффициент корреляции не является статистически значимым. При умеренном инбридинге наблюдается слабое влияние на молочную продуктивность и качественные показатели молока, в этой группе определены статистически значимые коэффициенты слабой отрицательной корреляции на скорость молокоотдачи $r = -0,153$ ($p < 0,05$) и слабой положительной на коэффициент устойчивости лактации $r = +0,164$ ($p < 0,05$) (табл. 3).

Таблица 3 – Связь степени инбридинга с показателями молочной продуктивности коров за 305 дней первой лактации /

Table 3 – The correlation of inbreeding degree with indicators of milk productivity of cows 305 days before the first lactation

Показатель молочной продуктивности / Indicator of milk productivity	Степень инбридинга / Degree of inbreeding		
	отдаленный / distant	умеренный / mild	близкий / close
Удой, кг / Milk yield, kg	0,015	0,028	-0,093
Массовая доля жира в молоке, % / Mass fraction of fat in milk, %	0,016	0,033	0,129
Молочный жир, кг / Milk fat, kg	-0,017	-0,021	-0,240
Массовая доля белка в молоке, % / Mass fraction of protein in milk, %	0,033	-0,016	0,171
Коэффициент устойчивости лактации, % / Lactation stability coefficient, %	0,113	0,164*	0,063
Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk flow rate, kg/min	-0,071	-0,153*	0,011

Примечание: Коэффициент корреляции статистически значим при $*p < 0,05$ /

Note: The correlation coefficient is statistically significant at $*p < 0.05$

С увеличением степени инбридинга наблюдается повышение влияния её на показатели молочной продуктивности за 305 дней первой лактации коров. Близкий инбридинг положительно, но достаточно слабо влияет на содержание жира и белка в молоке. При этом он отрицательно влияет на удои коров и соответственно на молочный жир.

В таблице 4 приведены коэффициенты корреляции между показателями молочной продуктивности коров в зависимости от степени инбридинга. Установлено заметное отрицательное влияние удои на жирность молока в группе с близкой степенью инбридинга $r = -0,677$ ($p < 0,001$), также между этими показателями наблюдается статистически значимая

связь в группе с отдаленной степенью инбридинга $r = -0,121$ ($p < 0,05$), в группе с аутбредными животными наблюдается незначительная положительная связь $r = +0,026$.

Между удои и содержанием молочного жира в молоке прослеживается весьма высокая связь, но с увеличением степени инбридинга она немного снижается с $r = +0,918$ ($p < 0,001$) до $r = +0,902$ ($p < 0,001$). Между удои и содержанием белка в молоке прослеживается обратная связь. Наивысшая тесная положительная связь принадлежит группе с близкой степенью инбридинга $r = +0,649$ ($p < 0,01$) и постепенно связь становится отрицательной умеренной $r = -0,342$ ($p < 0,01$) в группе с аутбридингом.

Таблица 4 – Взаимосвязь между показателями молочной продуктивности коров за 305 дней первой лактации в зависимости от степени инбридинга /

Table 4 – Correlation between dairy productivity indicators of cows 305 days before the first lactation, depending on the inbreeding degree

Показатель молочной продуктивности / Indicator of milk productivity	Степень инбридинга / Degree of inbreeding			
	аутбридинг / outbreeding	отдаленный / distant	умеренный / mild	близкий / close
Удой, кг – Массовая доля жира в молоке, % / Milk yield, kg – Mass fraction of fat in milk, %	0,026	-0,121*	-0,057	-0,677**
Удой, кг – Молочный жир, кг / Milk yield, kg – Milk fat, kg	0,918***	0,908***	0,931***	0,902***
Удой, кг – Массовая доля белка в молоке, % / Milk yield, kg – Mass fraction of protein in milk, %	-0,342**	-0,329***	-0,266***	0,649**
Удой, кг – Коэффициент устойчивости лактации, % / Milk yield, kg – Lactation stability coefficient, %	0,352***	0,179**	0,177*	0,361
Удой, кг – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk yield, kg – Milk flow rate, kg/min	-0,083	0,127*	0,062	-0,444
Массовая доля жира в молоке, % – Молочный жир, кг / Mass fraction of fat in milk, % – Milk fat, kg	0,420***	0,303***	0,309***	-0,294
Массовая доля жира в молоке, % – Массовая доля белка в молоке, % / Mass fraction of fat in milk, % – Mass fraction of protein in milk, %	-0,034	0,065	0,190**	-0,208
Массовая доля жира в молоке, % – Коэффициент устойчивости лактации, % / Mass fraction of fat in milk, % – Lactation stability coefficient, %	-0,203	-0,141*	0,096	-0,347
Массовая доля жира в молоке, % – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Mass fraction of fat in milk, % – Milk flow rate, kg/min	-0,117	-0,171**	-0,088	0,360
Молочный жир, кг – Массовая доля белка в молоке, % / Milk fat, kg – Mass fraction of protein in milk, %	-0,324**	-0,293***	-0,190**	0,730**
Молочный жир, кг – Коэффициент устойчивости лактации, % / Milk fat, kg – Lactation stability coefficient, %	-0,245*	-0,234***	-0,169*	-0,622*
Молочный жир, кг – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Milk fat, kg – Milk flow rate, kg/min	-0,355***	0,046	0,042	-0,267
Массовая доля белка в молоке, % – Коэффициент устойчивости лактации, % / Mass fraction of protein in milk, % – Lactation stability coefficient, %	-0,153	-0,028	-0,013	0,532*
Массовая доля белка в молоке, % – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Mass fraction of protein in milk, % – Milk flow rate, kg/min	0,124	0,185**	0,262***	-0,174
Коэффициент устойчивости лактации, % – Скорость молокоотдачи, кг/мин / Lactation stability coefficient, % – Milk flow rate, kg/min	-0,003	-0,037	-0,047	0,265

Примечание: коэффициент корреляции статистически значим при * $p < 0,05$, ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ /

Note: The correlation coefficient is statistically significant at * $p < 0.05$; ** $p < 0.01$; *** $p < 0.001$

Наличие отрицательных значений коэффициента корреляции между удоем и массовой долей белка свидетельствует о том, что в будущем проблема содержания белка в молоке должна решаться в основном за счёт использования коров с удачным сочетанием высокого удоя и содержания белка, а также использования племенных быков, матери которых имеют высокие показатели содержания белка.

Между удоем и коэффициентом устойчивости первой лактации статистически значимые

связи наблюдаются при аутбредном и инбредном подборе с отдалённой и умеренной степенью. Положительная умеренная связь прослеживается в группе с аутбредными животными $r = +0,352$ ($p < 0,001$), с увеличением степени инбридинга связь уменьшается до $r = +0,179$ ($p < 0,01$) в группе с отдалённой и $r = +0,177$ ($p < 0,05$) с умеренной степенью.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что повышение удоя отрицательно влияет на скорость молокоотдачи в группах

с аутбридингом ($r = -0,083$) и близкой степенью инбридинга ($r = -0,444$), но эти коэффициенты статистически незначимы. В группах с умеренной и отдаленной степенями инбридинга наблюдается слабая положительная связь $r = +0,062$ (статистически незначимая) и $r = +0,127$ ($p < 0,05$) соответственно.

Положительная и статистически значимая ($p < 0,001$) корреляция между массовой долей жира и молочного жира в молоке выявлена во всех группах, кроме группы с близкой степенью инбридинга. Но следует заметить, что с увеличением степени инбридинга связь между этими показателями уменьшалась, а в группе с близкой степенью инбридинга вообще стала отрицательной и статистически незначимой. Оптимальная степень инбридинга для проявления наивысшей положительной связи между жирностью молока и содержанием белка в молоке, а также коэффициентом устойчивости у коров является умеренная степень. Коровы с близкой степенью инбридинга имеют среднюю положительную связь показателей жирности молока со скоростью молокоотдачи $r = +0,360$, в остальных группах она слабая отрицательная.

По ряду причин внимание селекционеров привлекает не менее ценный компонент молока – белок. Для успешного разведения животных по этим показателям необходимо изучить индивидуальную изменчивость и наследуемость белка и жира в молоке коров с учётом их принадлежности к линиям и отдельным семействам при выявлении лучших производителей и коров стада. В нашем случае содержание молочного жира в молоке положительно влияет на содержание белка в молоке только в группе с близкой степенью инбридинга, причем между этими показателями высокая статистически значимая связь $r = +0,730$ ($p < 0,01$). В остальных группах с уменьшением степени инбридинга наблюдается рост отрицательной статистически значимой связи.

Содержание молочного жира имеет слабую отрицательную статистически значимую связь с коэффициентом устойчивости лактации в трёх группах: с аутбридингом ($r = -0,245$ ($p < 0,05$)), отдалённой ($-0,234$ ($p < 0,001$)) и умеренной ($-0,169$ ($p < 0,05$)) степенями инбридинга. Наблюдается резкий скачок коэффициента корреляции в группе с близкой степенью инбридинга $r = -0,622$ ($p < 0,05$), это означает, что в этой группе содержание молочного жира тесно и отрицательно связано с коэффициентом устойчивости лактации, связь статистически

значима. Положительно связаны содержание молочного жира в молоке и скорость молокоотдачи при отдаленном и умеренном инбридинге ($r = +0,046$ и $+0,042$ соответственно), но эти связи статистически незначимы. В группах с близкой степенью инбридинга и аутбридингом проявляется отрицательная связь между этими показателями.

Связь между содержанием белка в молоке и коэффициентом устойчивости лактации с увеличением степени инбридинга из отрицательной постепенной становится положительной. Рост коэффициента корреляции наблюдается в группе с аутбредными животными с $r = -0,153$ до $r = +0,532$ ($p < 0,05$) в группе с близкой степенью инбридинга. Это значит, что в последней группе повышение устойчивости лактации приводит к росту содержания белка в молоке. Между содержанием белка в молоке и скоростью молокоотдачи во всех группах прослеживается положительная связь, кроме группы с близкой степенью инбридинга, в которой между показателями отрицательная связь $r = -0,174$. Слабая положительная статистически значимая связь характерна для групп с отдалённой и умеренной степенями инбридинга. В группе с аутбредными животными между показателями слабая положительная связь $r = +0,124$, но статистически незначимая.

В группе с близкой степенью инбридинга между коэффициентом устойчивости лактации и скоростью молокоотдачи наблюдается слабая положительная статистически незначимая связь $r = +0,265$, во всех остальных группах – незначительная отрицательная статистически незначимая связь.

Заключение. В результате исследований установлено, что коровы, полученные с применением инбридинга, незначительно превосходят своих аутбредных сверстниц по удою и скорости молокоотдачи. Максимальный удой имели коровы с близкой степенью инбридинга (на 80,6 кг), но по жирномолочности уступали аутбредным животным (на 0,21 %), по содержанию белка в молоке различий между группами нет.

Применение близкой степени инбридинга привело к сокращению разнообразия удоя на 1,05 %, молочного жира на 4,67 % при одновременном расширении изменчивости по содержанию белка в молоке на 0,65 % и скорости молокоотдачи на 0,49 %.

Во всех группах, за исключением группы аутбридинга, наблюдалась отрица-

тельная связь между удоем и жирномолочностью ($r = -0,057-0,677$); между удоем и содержанием белка в молоке связь отрицательная, кроме группы с близкой степенью инбридинга ($r = +0,649$); между удоем и коэффициентом устойчивости лактации слабая положительная ($r = +0,177-0,361$); между содержанием жира и белка в молоке слабая, в группах с аутбридингом и близким инбри-

дингом – отрицательная, в группах с отдаленным и умеренном инбридингом – положительная.

Так как положительный эффект применения инбридинга установлен лишь в группе с близкой степенью и только в отношении удоя при одновременном снижении массовой доли жира в молоке, рекомендуем использовать эту степень в исключительных случаях и на выдающихся предках.

Список литературы

1. Шендаков А. И., Шендакова Т. А., Колобанова В. Н. Мониторинг распространения инбридинга в стадах молочного скота Орловской области. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(6):88-94. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36346283>
2. Грачев В. С., Живоглазова Е. В. Эффективность использования инбридинга при различных методах разведения айрширского скота. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2015;(38):39-45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24832353>
3. Свяженина М. А. Влияние инбридинга на продуктивные качества скота голштинской породы. Современные направления развития науки в животноводстве и ветеринарной медицине: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф. Тюмень: ФГБОУ ВО "Государственный аграрный университет Северного Зауралья", 2019. С. 46-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38183857>
4. Зырянова С. В., Лапина М. Ю. Инбридинг, его влияние на хозяйственно-ценные признаки крупного рогатого скота ярославской породы. Вестник Донского государственного аграрного университета. 2019;(4-1 (34)):37-44. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41583492>
5. Недашковский И. С., Сермягин А. А., Богданова Т. В., Ермилов А. Н., Янчуков И. Н., Зиновьева Н. А. Оценка влияния уровня инбридинга на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинизированной популяции черно-пестрой породы. Молочное и мясное скотоводство. 2018;(7):17-22. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36613447>
6. Doekes H. P., Veerkamp R. F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S. J., Windig J. J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 2019;51:54. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0497-z>
7. Doekes H. P., Bijma P., Veerkamp R. F., de Jong G., Wientjes Y. C. J., Windig J. J. Inbreeding depression across the genome of Dutch Holstein Friesian dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 2020;52(1):64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00583-1>
8. Mankanjuola B. O., Maltecca C., Miglior F., Schenkel F. C., Baes C. F. Effect of recent and ancient inbreeding on production and fertility traits in Canadian Holsteins. BMC Genomics. 2020;21:605. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-020-07031-w>
9. Pryce J. E., Haile-Mariam M., Goddard M. E., Hayes B. J. Identification of genomic regions associated with inbreeding depression in Holstein and Jersey dairy cattle. Genet. Sel. Evol. 2014;46(1):71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-014-0071-7>
10. Doekes H. P., Bijma P., Windig J. J. How Depressing Is Inbreeding? A Meta-Analysis of 30 Years of Research on the Effects of Inbreeding in Livestock. Genes (Basel). 2021;12(6):926. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/genes12060926>
11. Sumreddee P., Hay E. H., Toghiani S., Roberts A., Aggrey S. E., Rekaya R. Grid search approach to discriminate between old and recent inbreeding using phenotypic, pedigree and genomic information. BMC Genomics. 2021;22:538. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-021-07872-z>
12. Forutan M., Mahyari S. A., Baes C., Melzer N., Schenkel F. S., Sargolzaei M. Inbreeding and runs of homozygosity before and after genomic selection in North American Holstein cattle. BMC Genomics. 2018;19:98. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-018-4453-z>
13. Смарагдов М. Г., Кудинов А. А. Полногеномная оценка инбридинга у молочного скота. Достижения науки и техники АПК. 2019;33(6):51-53. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10612>
14. Howard J. T., Pryce J. E., Baes C., Maltecca C. Invited review: Inbreeding in the genomics era: Inbreeding, inbreeding depression, and management of genomic variability. J. Dairy Sci. 2017;100(8):6009-6024. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12787>
15. Донник И. М., Мымрин В. С., Лоретц О. Г., Лиходеевская О. Е., Барашкин М. И. Влияние инбридинга на молочную продуктивность, качество молока и воспроизводительную способность коров. Аграрный вестник Урала. 2013;(5(111)):15-19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20264754>

References

1. Shendakov A. I., Shendakova T. A., Kolobanova V. N. Monitoring the spread of inbreeding in dairy herds in the Orel region. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(6):88-94. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36346283>
2. Grachev V. S., Zhivoglazova E. V. The effectiveness of inbreeding in various methods of breeding ayrshire cattle. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2015;(38):39-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24832353>

3. Svyazhenina M. A. Influence of inbreeding on productive qualities of cattle holstein breed. Modern trends in the development of science in animal husbandry and veterinary medicine: Proceedings of the International scientific and practical Conference. Tyumen': Gosudarstvennyy agrarnyy universitet Severnogo Zaural'ya, 2019. pp. 46-50. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38183857>

4. Zyryanova S. V., Lapina M. Yu. Inbreeding, its influence on the economically valuable characteristics of yarovslavl breed. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Don State Agrarian University. 2019;(4-1 (34)):37-44. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41583492>

5. Nedashkovskiy I. S., Semyagin A. A., Bogdanova T. V., Ermilov A. N., Yanchukov I. N., Zinov'eva N. A. Evaluation of inbreeding effect for milk production and fertility traits black-and-white cattle improved by holstein breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2018;(7):17-22. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36613447>

6. Doekes H. P., Veerkamp R. F., Bijma P., de Jong G., Hiemstra S. J., Windig J. J. Inbreeding depression due to recent and ancient inbreeding in Dutch Holstein-Friesian dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2019;51:54. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0497-z>

7. Doekes H. P., Bijma P., Veerkamp R. F., de Jong G., Wientjes Y. C. J., Windig J. J. Inbreeding depression across the genome of Dutch Holstein Friesian dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2020;52(1):64. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-020-00583-1>

8. Makanjuola B. O., Maltecca C., Miglior F., Schenkel F. C., Baes C. F. Effect of recent and ancient inbreeding on production and fertility traits in Canadian Holsteins. *BMC Genomics.* 2020;21:605. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-020-07031-w>

9. Pryce J. E., Haile-Mariam M., Goddard M. E., Hayes B. J. Identification of genomic regions associated with inbreeding depression in Holstein and Jersey dairy cattle. *Genet. Sel. Evol.* 2014;46(1):71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-014-0071-7>

10. Doekes H. P., Bijma P., Windig J. J. How Depressing Is Inbreeding? A Meta-Analysis of 30 Years of Research on the Effects of Inbreeding in Livestock. *Genes (Basel).* 2021;12(6):926. DOI: <https://dx.doi.org/10.3390/genes12060926>

11. Sumreddee P., Hay E. H., Toghiani S., Roberts A., Aggrey S. E., Rekaya R. Grid search approach to discriminate between old and recent inbreeding using phenotypic, pedigree and genomic information. *BMC Genomics.* 2021;22:538. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-021-07872-z>

12. Forutan M., Mahyari S. A., Baes C., Melzer N., Schenkel F. S., Sargolzaei M. Inbreeding and runs of homozygosity before and after genomic selection in North American Holstein cattle. *BMC Genomics.* 2018;19:98. DOI: <https://dx.doi.org/10.1186/s12864-018-4453-z>

13. Smaragdov M. G., Kudinov A. A. Full genome inbreeding assessment of dairy cattle. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2019;33(6):51-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10612>

14. Howard J. T., Pryce J. E., Baes C., Maltecca C. Invited review: Inbreeding in the genomics era: Inbreeding, inbreeding depression, and management of genomic variability. *J. Dairy Sci.* 2017;100(8):6009-6024. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-12787>

15. Donnik I. M., Mymrin V. S., Loretts O. G., Likhodeevskaya O. E., Barashkin M. I. The influence of inbreeding on milk producing ability, milk quality and reproductive ability of cows. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2013;(5(111)):15-19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20264754>

Сведения об авторах

✉ **Руденко Оксана Васильевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Нижегородский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 38, с. п. Селекционной станции, Кстовский район, Нижегородская область, Российская Федерация, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8355-1048>, e-mail: oks-rud76@mail.ru

Information about the author

✉ **Oksana V. Rudenko**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Nizhny Novgorod Research Institute of Agriculture – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, v. Selektionnaya stantsiya, 38, Kstovo district, Nizhny Novgorod region, Russian Federation, 607686, e-mail: nnovniish@rambler.ru.

ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8355-1048>, e-mail: oks-rud76@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние пробиотика «Румит» на ростовую активность телят черно-пестрой породы

© 2022. А. С. Литонина[✉], Ю. М. Смирнова, А. В. Платонов

ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», г. Вологда, Российская Федерация

Объектом исследования является пробиотик «Румит» производства ООО «Биотроф», созданный на основе целлюлолитических бактерий, который может использоваться для включения в состав рационов кормления телят, начиная с молочного периода. Для того чтобы оценить эффективность применения пробиотика, проведен научно-хозяйственный опыт на базе СПК «Колхоз Андога» Кадуевского района Вологодской области с марта по июнь 2021 года. В эксперименте были задействованы 20 телят черно-пестрой породы в возрасте 1,5-2 месяца, разделенных по принципу пар-аналогов на контрольную и опытную группы. Опытная группа на протяжении эксперимента (90 дней) получала дополнительно к основному рациону в качестве добавки пробиотик «Румит» 15 г/гол/сут. Полученные в результате проведенных исследований данные по живой массе свидетельствуют о том, что использование изучаемого пробиотика в кормлении телят привело к повышению их валового прироста до 74,2 кг, что обеспечило снижение затрат кормов на единицу получаемой продукции на 3,8 %.

Ключевые слова: молодняк, ферментативно-пробиотический препарат, живая масса, абсолютный и среднесуточный прирост

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» (тема № FMGZ-2020-0010).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Литонина А. С., Смирнова Ю. М., Платонов А. В. Влияние пробиотика «Румит» на ростовую активность телят черно-пестрой породы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):395-401.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.395-401>

Поступила: 08.04.2022

Принята к публикации: 27.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

The effect of the probiotic "Rumit" on the growth activity of black-and-white calves

© 2022. Anastasia S. Litonina[✉], Yulia M. Smirnova, Andrey V. Platonov

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russian Federation

The object of the study is a probiotic Rumit produced by Biotrof Ltd., which can be added to the diet of milk-fed calves. It is developed on the basis of cellulolytic bacteria. In order to assess the effectiveness of the probiotic use there has been conducted a scientific and agricultural experiment on the basis of the agricultural production co-operative Kolkhoz Andoga of the Kaduysky district, Vologda region since March to June 2021. Studied were 20 calves of black-and-white bred aged 1.5-2 months divided according to the principle of paired peers into two groups: a control and an experimental. The experimental group was given the probiotic Rumit in the amount of 15 g/head/day during 90 days as a supplement to the basic diet. The data on live weight obtained in the course of the study indicate that the use of the probiotic in feeding calves has led to an increase in gross growth to 74.2 kg, that has provided a 3.8 % reduction in feed costs per unit of output.

Keywords: calves, probiotics, live weight, absolute gain, average daily gain

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. FMGZ-2020-0010).

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: Litonina A. S., Smirnova Yu. M., Platonov A. V. The effect of the probiotic «Rumit» on the growth activity of black-and-white calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):395-401. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.395-401>

Received: 08.04.2022

Accepted for publication: 27.05.2022

Published online: 23.06.2022

Для создания высокопродуктивных стад в первую очередь необходимо обратить внимание на технологию выращивания ремонтных телок. Интенсивное развитие молочного скотоводства требует совершенствования технологии выращивания ремонт-

ного молодняка. От успешного выращивания молодняка зависят: быстрый рост и скороспелость; высокая продуктивность; выносливость и длительный срок эксплуатации; хорошая усвояемость объемистых кормов [1].

В. Дуборезов и Т. Дуборезова утверждают, что «при развитии интенсивных форм животноводства и последовательном повышении их эффективности требуется не только решать технические и селекционные проблемы, но и серьезно относиться к использованию полноценных и экономически выгодных кормов. Важная задача при этом – создать условия в рубце жвачных животных, при которых кормовые смеси максимально перевариваются и усваиваются организмом, а также служат профилактическими средствами против болезней. В связи с этим в последние годы внимание исследователей привлечено к пробиотикам. Расширились представления о биологической эффективности этих препаратов. Обнаружено, что пробиотики положительно влияют на микробиоценоз кишечника. По данным ряда ученых, симбионтная флора благодаря ферментативной деятельности (амилолитической, протеолитической, целлюлозолитической и др.) способна синтезировать многие биологически активные вещества, которые, всасываясь в кровеносное русло, участвуют в энергетическом и витаминном обмене, играют важную роль в жизнеобеспечении организма-хозяина» [2, с. 79].

Биохимическая активность микробиоценоза желудочно-кишечного тракта во многом определяет физиологический статус животных. В последние годы значительно усилилась техногенная и микробиологическая нагрузка на организм животных в условиях развития промышленного животноводства. Происходит нарушение регуляции биоценоза желудочно-кишечного тракта за счет повышения изменчивости и бактерий, и вирусов, и вирулентности среди условно-патогенных, быстрого развития их устойчивости к различным антибиотическим веществам. Сдвиг в количественном и качественном составе условно-патогенной и нормальной кишечной микрофлоры ведет к кишечному дисбалансу [3, 4].

В связи с этим необходимо использовать в рационах экологически чистые кормовые добавки нового поколения, полученные благодаря достижениям биотехнологии. Исследования Л. В. Алексеевой, Л. В. Кондаковой, Liu et al., Ma et al., Yu et al. свидетельствуют, что биологические добавки способствуют увеличению продуктивности животных за счет стимуляции пищеварительных процессов, вследствие чего происходит повышение переваримости и усвояемости питательных веществ [5, 6, 7, 8].

В последнее время в кормлении животных находят применение пробиотические препараты, в состав которых входят живые микроорганизмы симбионты желудочно-кишечного тракта [9].

Одним из таких препаратов нового поколения является ферментный пробиотик «Румит», который разработан и производится ООО «Биотроф».

«Румит» – это натуральный комплекс живых бактерий на основе культивированных штаммов целлюлозолитических бактерий рубца северного оленя (*Rangifer tarandus*). Олени обладают адаптивными возможностями рубца к условиям скудного пищевого рациона и короткого вегетационного периода растений. Следовательно, можно предположить, что в рубце оленей содержится больше целлюлозолитических бактерий, чем в рубце других жвачных животных. Известно, что целлюлозолитические бактерии расщепляют клетчатку и, как результат, обеспечивают лучшее переваривание и усвоение корма в организме животного [10].

Входящие в пробиотик микроорганизмы, в первую очередь, способны продуцировать молочную и ряд других органических кислот, для которых свойственна стимуляция процессов регенерации кишечного эпителия, а также характерна антагонистическая активность в отношении гнилостных и некоторых условно-патогенных бактерий. За счет чего повышается усвояемость корма, увеличивается сохранность молодняка и происходит снижение стоимости рациона [11].

Цель исследований – изучить влияние препарата ферментативно-пробиотического действия «Румит» на рост телят и затраты кормов при выращивании.

Научная новизна. Впервые изучена эффективность применения ферментативно-пробиотического препарата нового поколения «Румит» в кормлении телят в возрасте от 1,5 до 5-месячного возраста.

Материал и методы. На базе СПК «Колхоз Андога» Кадуйского района Вологодской области был проведен научно-хозяйственный эксперимент в период с марта по июнь 2021 года. Для этого были сформированы контрольная и опытная группы телят чернопестрой породы. Опытная группа дополнительно к основному рациону получала пробиотик по 15 г на голову в сутки. Ферментативно-пробиотическая добавка получена от производителя ООО «Биотроф» (Санкт-Петербург, г. Пушкин).

По нормативным документам производителя «Румит», «как ферментный препарат – повышает усвояемость клетчатки силоса, сенажа, сена, а также зерновых: пшеницы, ячменя, ржи, овса. Как пробиотический препарат – подавляет развитие патогенных микроорганизмов и способствует формированию условий для развития полезной микрофлоры в пищева-

тельном тракте с повышенным амилопротоцеллюлозолитическим действием» [12].

Группы ремонтных телок сформированы (табл. 1) методом пар-аналогов по происхождению, полу, возрасту, живой массе по 10 голов в каждой. Длительность опыта (предварительного и учетного периодов (90 дней)) составляла 110 дней.

Таблица 1 – Характеристика групп подопытных животных по основным показателям отбора ($X \pm m_x$) /
Table 1 – Characteristics of groups of experimental animals according to the main selection indicators ($X \pm m_x$)

<i>Группа /</i> <i>Group</i>	<i>Кровность по</i> <i>голландской породе, % /</i> <i>Genotype, %</i>	<i>Возраст, мес. /</i> <i>Age, months</i>	<i>Живая масса, кг /</i> <i>Live weight, kg</i>
Контрольная / Control	79,5 $\pm$ 2,4	1,65 $\pm$ 3,5	66,8 $\pm$ 3,1
Опытная / Experimental	79,3 $\pm$ 3,9	1,77 $\pm$ 2,3	65,7 $\pm$ 3,2

При обосновании полученного эффекта от ферментативно-пробиотического препарата были учтены условия проведения: кормовая база, условия содержания и кормления животных, способ применения пробиотиков.

Содержание животных групповое (по 3 головы в клетке), идентичное для контрольной и опытной групп, соответствующее нормам зоогигиенического контроля.

Рационы подопытных животных сбалансированы как на начало, так и в течение эксперимента в соответствии с детализированными нормами кормления¹.

С целью определения полноценности питания проводили отбор проб кормов (силос, зернофука, сено, сквашенное молоко), входящих в рацион кормления опытных групп, для химического анализа перед началом опыта и при смене кормов (сухое вещество, сырой и переваримый протеин, расчет обменной энергии, клетчатка, каротин, содержание кальция, фосфора). Отбор проб, анализ и контроль кормов осуществляли по методике ВИЖ². Анализ кормов проводили в Северо-Западном научно-исследовательском институте молочного и лугопастбищного хозяйства имени А. С. Емельянова.

При проведении научно-хозяйственного опыта по скармливанию пробиотика «Румит» на основе целлюлозолитических бактерий использована схема кормления телят, предусматривающая постепенный переход от

молочного кормления к объемистым кормам в сочетании с концентратами.

Телятам обеих групп выпаивали цельное молоко (из расчета на 1 голову в сутки): до 2-месячного возраста – 6 л, до 3-месячного – 4 л, до 4-месячного – 2 л. С 5-дневного возраста в рацион вводили предстартерный комбикорм для интенсивного развития ворсинок в рубце. Корма давали вволю. Поение каждого животного отдельно трехкратно. На второй неделе жизни в рацион вводили грубый корм – сено. Приучение к силосу начиналось с 2-месячного возраста по 1 кг в день. С середины второго месяца жизни теленку в рацион вводили зернофуку и минеральные добавки. Дополнительно с молоком до 4-месячного возраста телятам опытной группы давали кормовую добавку «Румит», а месяц после снятия с молока животные потребляли пробиотик с силосом.

Изучение эффективности добавок в животноводстве должно выполняться на здоровых животных, поэтому перед началом эксперимента проводили учет клинических параметров здоровья подопытных телят (температура, пульс, дыхание). Полученные показатели между телятами контрольной и опытной групп существенно не различались и находились в пределах физиологических норм, что свидетельствует о том, что в эксперимент были подобраны здоровые животные.

¹Калашников А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Под редакцией А. П. Калашникова, И. В. Фисниной, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. М.: Россельхозакадемия, 2003. 359 с.

²Томмэ М. Ф., Модянов А. В., Бегучев А. П. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1969. С. 10-17.

Уровень лечебно-профилактических свойств применения пробиотика оценивали по частоте заболеваемости и продолжительности диспепсии и диареи телят с 2 до 5-месячного возраста.

Индивидуальное взвешивание проводили утром до поения и кормления ежемесячно, на основании чего проводили расчет приростов живой массы. В течение опыта эффективность препарата анализировали по данным, которые обработаны методами вариационной статистики.

Результаты и их обсуждение. Чтобы животные смогли наиболее полно реализовать и проявить генетический потенциал продуктивности во взрослом состоянии, необходимо создание в различные периоды индивидуального развития оптимальных условий кормления и содержания, обеспечивающих хоро-

шее развитие организма на морфологическом, физиологическом, биохимическом и метаболическом уровнях. Поэтому эффективность производства молока обусловлена интенсивным выращиванием молодняка крупного рогатого скота [13].

Быстрорастущие животные затрачивают меньше питательных веществ корма на единицу продукции, чем животные, растущие медленно, поэтому скорость роста, которую определяют по величине живой массы и абсолютному приросту, имеет важное народнохозяйственное значение [11].

Живая масса телят при постановке на опыт в среднем составляла 66,8 кг в контрольной группе и 65,7 кг – в опытной. По результатам взвешиваний определен абсолютный и среднесуточный приросты (табл. 2 и 3).

Таблица 2 – Абсолютный прирост живой массы телок, кг (n = 10) /
Table 2 – Absolute live weight gain of heifer calves, kg (n = 10)

Период скармливания добавки / Period of giving the supplement	Группа / Group						В % к контроль- ной группе / % to the control group
	контрольная / control			опытная / experimental			
	$X \pm m_x$	δ	$C_v, \%$	$X \pm m_x$	δ	$C_v, \%$	
1 месяц / 1 month	42,1±1,0	3,1	7,3	42,3±2,3	7,2	16,9	100,5
2 месяц / 2 months	16,7±1,7	5,2	31,4	17,3±1,2	3,8	22,0	103,6
3 месяц / 3 months	12,7±2,1	6,7	52,6	14,6±3,1	9,9	67,8	115,0
Итого за период опыта / Total for the experimental period	71,5	-	-	74,2	-	-	103,8

Таблица 3 – Среднесуточный прирост живой массы телок, г (n = 10) /
Table 3 – Average daily live weight gain of heifer calves, g (n = 10)

Период скармливания добавки / Period of giving the supplement	Группа / Group						В % к контрольной группе / % to the control group
	контрольная / control			опытная / experimental			
	$X \pm m_x$	δ	$C_v, \%$	$X \pm m_x$	δ	$C_v, \%$	
1 месяц / 1 month	1002±23	73	7,3	1007±54	170	16,9	100,5
2 месяц / 2 months	506±50	159	31,4	524±36	115	22,0	103,6
3 месяц / 3 months	454±75	239	52,6	521±112	354	67,8	115,0

Валовой прирост в опытной группе одной головы за 90 дней скармливания добавки составил 74,2 кг, что на 3,8 % выше, чем в контрольной.

При оценке эффективности препарата по среднесуточным приростам телят выявлено, что опытная группа превосходила по этому показателю контрольную в первый месяц эксперимента на 0,5 %, во второй – на 3,6 % и третий – на 15,0 %. Телята опытной группы превзошли контрольную на указанную величину

за счет более интенсивного их роста в период проводимого эксперимента.

Высокие показатели среднесуточных приростов телят в опытной группе объясняются тем, что используемый в кормлении пробиотический препарат, характеризующийся целлюлозолитической активностью и высокими антагонистическими возможностями в отношении патогенной микрофлоры, способствует повышению переваримости питательных веществ рациона.

Относительный прирост помогает оценить влияние на рост животного не только начальной, но и прирастающей за каждый предыдущий период его жизни живой массы. Этот показатель уменьшается с возрастом по причине возрастного снижения интенсивности обменных процессов. Если показатель относительного прироста с возрастом увеличивается, то можно говорить о том, что ранее имела место задержка роста и идет ее компенсация. В наших исследованиях относительный прирост в контрольной группе с 48,4 % в первый месяц опыта снизился до 9,9 % по его завершению. В группе телят, потреблявших пробиотик, это сокращение составило с 48,5 % до 11,1 %.

В период проведения эксперимента ветеринарными специалистами хозяйства фиксировались случаи заболевания телят с указанием симптомов, методов диагностики, продолжительности течения и схем его лечения. У телят черно-пестрой породы опытной группы, принимавших пробиотик «Румит», содержащий целлюлозолитические бактерии, на протяжении опыта не зарегистрированы желудочно-кишечные расстройства. А у двух телят контрольной группы были диагностированы диарея и обез-

воживание, которые говорят о расстройствах желудочно-кишечного тракта.

Все вышеизложенное дает основание считать, что препарат «Румит» ускоряет созревание рубцовой микрофлоры и нормализует работу желудочно-кишечного тракта. Такой эффект реализуется за счет подавления развития патогенных бактерий, а также создания благоприятных условий для увеличения числа полезной микрофлоры в пищеварительной системе с повышенным амилопротеоцеллюлолитическим действием.

Важным показателем, характеризующим эффективность выращивания подопытных телок, является их оплата корма приростом живой массы. Все сложные изменения обмена веществ, в том числе различие в синтезе белков и жиров, также отражает показатель затрат корма на прирост живой массы [14, 15].

Затраты корма на продукцию показывают, насколько эффективно их использование, а также свидетельствуют о полноценности и сбалансированности кормления. По окончании опыта при анализе рационов рассчитаны затраты переваримого протеина (ПП) и энергетических кормовых единиц (ЭКЕ) на 1 кг прироста в опытной и контрольной группах (табл. 4).

Таблица 4 – Затраты кормов на 1 кг прироста телок /
Table 4 – Feed costs per 1 kg of heifer growth

<i>Группа / Group</i>	<i>Затраты на 1 кг прироста / Costs per 1 kg of growth</i>	
	<i>энергетическая кормовая единица / energy feed unit</i>	<i>переваримый протеин, г / digestible protein, g</i>
Контрольная / Control	5,29	400,3
Опытная / Experimental	5,09	385,7

Высокая интенсивность роста животных опытной группы при одинаковых рационах с контрольной говорит о том, что при скормлении препарата «Румит» телята более эффективно использовали питательные вещества и энергию потребляемых кормов. При расчете затрат кормов за весь период опыта установлено, что животным опытной группы на 1 кг прироста требовалось 5,09 ЭКЕ и 385,7 г переваримого протеина, контрольной – 5,29 ЭКЕ и 400,3 г соответственно.

Таким образом, телята опытной группы, получавшие изучаемый пробиотик, затрачивали на 3,78 % меньше энергетических кормовых единиц и на 3,65 % меньше переваримого протеина на 1 кг прироста массы тела по сравнению с контрольными животными.

Закключение. В ходе исследований установлено, что использование ферментативно-пробиотического препарата «Румит» в кормлении молодняка крупного рогатого скота способствует более интенсивному росту телят и снижению числа случаев расстройств пищеварения за счет лечебно-профилактических свойств пробиотика, а впоследствии приводит к сокращению затрат кормов при выращивании ремонтных телок.

Следовательно, данные, полученные нами в научно-хозяйственном опыте на телятах в возрасте с 2 до 5 месяцев, свидетельствуют об эффективном использовании в кормлении молодняка, изучаемого пробиотика.

Список литературы

1. Кузякина Л. И. Инновационные технологии при выращивании ремонтных телок в молочном скотоводстве. От инерции к развитию: научно-инновационное обеспечение развития животноводства и биотехнологий: сб. мат-лов Международ. научн-практ. конф. Екатеринбург: Уральский ГАУ, 2020. С. 98-100.
2. Дуборезов В. М. Пробиотическая кормовая добавка в рационах телят-молочников. Комбикорма. 2016;(5):79-80.
3. Angelakis E. Weight gain by gut microbiota manipulation in productive animals. Microbial Pathogenesis. 2017;(106):162-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.11.002>
4. Лаптев Г., Ильина Л., Солдатова В. Микробиом рубца жвачных: современные представления. Животноводство России. 2018;(10):38-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36368721>
5. Алексеева Л. В., Кондакова Л. В. Физиологическое состояние бычков герефордской породы крупного рогатого скота при введении в рацион нанопорошков кобальта и железа. Зоотехния. 2013;(1):12-13. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18366448>
6. Liu H., Ji H. F., Zhang D. Y., Wang S. X., Wang J., Shan D. C., Wang Y. M. Effects of Lactobacillus brevis preparation on growth performance, fecal microflora and serum profile in weaned pigs. Livestock Science. 2015;(178): 251-254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.06.002>
7. Ma T., Suzuki Y., Guan L. L. Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. Veterinary Immunology and Immunopathology. 2018;(205):35-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>
8. Yu Y. J., Amorim M., Marques C., Calhau C., Pintado M. Effects of whey peptide extract on the growth of probiotics and gut microbiota. Journal of Functional Foods. 2016;(21):507-516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.10.035>
9. Лаптев Г. Ю., Новикова Н. И., Ёылдырым Е. А., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Дубровин А. В., Тарлаев Н. В. Микробиом сельскохозяйственных животных: связь со здоровьем и продуктивностью. СПб.: Проспект Науки, 2020. 336 с.
10. Litonina A. S., Smirnova Y. M., Platonov A. V., Laptev G. Y., Dunyashev T. P., Butakova M. V. Application of enzyme probiotic drug developed based on microorganisms of the rumen of reindeer (Rangifer tarandus) in feeding cows. Regulatory Mechanisms in Biosystems. 2021;12(1):109-115. DOI: <https://doi.org/10.15421/022117>
11. Тюкавкина О. Н., Краснощекова Т. А. Влияние скармливания пробиотика «Целлобактерин» на рост и показатели крови молодняка крупного рогатого скота. Проблемы зоотехнии, ветеринарии и биологии животных на Дальнем Востоке: сб. научн. тр. Благовещенск: Дальневосточный государственный аграрный университет, 2018. С. 50-55. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37192430>
12. Дунашев Т. П., Ильина Л. А., Лаптев Г. Ю., Солдатова В. В., Ёылдырым Е. А., Филиппова В. А., Лайшев К. А. Изучение микрофлоры рубца Rangifer tarandus и выделение высокоактивного штамма с целлюлолитическими свойствами для разработки кормовой добавки для сельскохозяйственных животных. Современные достижения и проблемы генетики и биотехнологии в животноводстве: мат-лы Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. 90-летию акад. Л. К. Эрнста. Дубровицы: ВИЖ, 2019. С. 50-53.
13. Леутина Д. В., Прищеп Е. А., Герасимова А. С. Характеристика телок бурой швицкой породы в ПСХК «Новомихайловский» Смоленской области. Новости науки в АПК. 2019;(3):217-220. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41528053>
14. Зеленков А. П., Зеленков П. И., Зеленкова Г. А., Пахомов А. П. Рост, развитие и оплата корма приростом молодняка красной степной породы в зависимости от сезона рождения. Проблемы развития АПК региона. 2018;(3):101-104.
15. Выращивание телят в молочный период. Агентство научно-технической информации. Научно-техническая библиотека SciTecLibrary. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st334/11.htm> (дата обращения: 15.11.2021).

References

1. Kuzyakina L. I. Innovative technologies in the cultivation of repair heifers in dairy cattle breeding. From inertia to development: scientific and innovative support for the development of animal husbandry and biotechnologies: collection of International Materials. scientific-practical conf. Ekaterinburg: Ural'skiy GAU, 2020. pp. 98-100.
2. Duborezov V. M. Probiotic feed additive in the diets of dairy calves. Kombikorma. 2016;(5):79-80. (In Russ.).
3. Angelakis E. Weight gain by gut microbiota manipulation in productive animals. Microbial Pathogenesis. 2017;(106):162-170. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2016.11.002>
4. Laptev G., Ilyina L., Soldatova V. Microbiome of ruminants' rumen: modern concepts. Zhivotnovodstvo Rossii. 2018;(10):38-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36368721>
5. Alekseeva L. V., Kondakova L. V. Physiological state of hereford breed bull-calves at introduction into diet cobalt and ferrum nanopowders. Zootekhniya. 2013;(1):12-13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18366448>

6. Liu H., Ji H. F., Zhang D. Y., Wang S. X., Wang J., Shan D. C., Wang Y. M. Effects of *Lactobacillus brevis* preparation on growth performance, fecal microflora and serum profile in weaned pigs. *Livestock Science*. 2015;(178): 251-254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2015.06.002>
7. Ma T., Suzuki Y., Guan L. L. Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2018;(205):35-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>
8. Yu Y. J., Amorim M., Marques C., Calhau C., Pintado M. Effects of whey peptide extract on the growth of probiotics and gut microbiota. *Journal of Functional Foods*. 2016;(21):507-516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.10.035>
9. Laptev G. Yu., Novikova N. I., Yyldyrym E. A., Ilyina L. A., Filippova V. A., Dubrovin A. V., Tarlavin N. V. Microbiome of farm animals: connection with health and productivity. Saint-Petersburg: *Prospekt Nauki*, 2020. 336 p.
10. Litonina A. S., Smirnova Y. M., Platonov A. V., Laptev G. Y., Duniyashev T. P., Butakova M. V. Application of enzyme probiotic drug developed based on microorganisms of the rumen of reindeer (*Rangifer tarandus*) in feeding cows. *Regulatory Mechanisms in Biosystems*. 2021;12(1):109-115. DOI: <https://doi.org/10.15421/022117>
11. Tyukavkina O. N., Krasnoshchekova T. A. The effect of feeding the probiotic "Cellobacterin" on the growth and blood parameters of young cattle. Problems of animal science, veterinary medicine and animal biology in the Far East: collection of scientific papers. Blagoveshchensk: *Dal'nevostochnyy gosudarstvennyy agrarnyy universitet*, 2018. С. 50-55. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37192430>
12. Duniyashev T. P., Ilyina L. A., Laptev G. Yu., Soldatova V. V., Yyldyrym E. A., Filippova V. A., Layshev K. A. Study of *Rangifer tarandus* rumen microflora and selection of high-active cellulolytic strain or development of agricultural animals feed additive. Modern achievements and problems of genetics and biotechnology in animal husbandry: Proceedings of International Scientific and practical conf., dedicated to the 90th anniversary of Academician L. K. Ernst. Dubrovitsy: *VIZh*, 2019. pp. 50-53.
13. Leutina D. V., Prishchep E. A., Gerasimova A. S. Characteristics of the heifers brown swiss breed in pshk «Novomikhaylovskiy» Smolensk region. *Novosti nauki v APK*. 2019;(3):217-220. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41528053>
14. Zelenkov A. P., Zelenkov P. I., Zelenkova G. A., Pakhomov A. P. Growth, development and payment of feed by the growth of young red steppe breed depending on the season of birth. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2018;(3):101-104. (In Russ.).
15. Raising calves during the dairy period. Agency of Scientific and Technical Information. Scientific and Technical Library SciTecLibrary. Available at: <http://www.sciteclibrary.ru/texts/rus/stat/st334/11.htm> (accessed: 15.11.2021).

Сведения об авторах

✉ **Литонина Анастасия Сергеевна**, научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», ул. Горького, д. 56а, г. Вологда, Вологодская область, Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9629-0625>, e-mail: litoninaas@mail.ru

Смирнова Юлия Михайловна, научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», ул. Горького, д. 56а, г. Вологда, Вологодская область, Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9155-5110>

Платонов Андрей Викторович, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», ул. Горького, д. 56а, г. Вологда, Вологодская область, Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

Information about the authors

✉ **Anastasia S. Litonina**, researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A, Gorky Street, Vologda, Vologda Oblast, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9629-0625>, e-mail: litoninaas@mail.ru

Yulia M. Smirnova, researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A, Gorky Street, Vologda, Vologda Oblast, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9155-5110>

Andrey V. Platonov, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A, Gorky Street, Vologda, Vologda Oblast, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410>



УДК 631.362.36

Обоснование основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора с использованием различных методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале

© 2022. А. И. Бурков, А. Л. Глушков, В. А. Лазыкин[✉], В. Ю. Мокиев
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье приведено исследование влияния методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале (ПСК) на конструктивные параметры разделительной камеры (длину и высоту выходного окна), выполненное в 2013-2021 гг. Построено поле скоростей воздушного потока в разделительной камере фракционного сепаратора семян, произведен расчет и построение траекторий компонентов семенного материала яровой пшеницы. Исходными данными для расчета являлись сведения, полученные ранее при расчете траекторий частиц в ПСК различными методами. Местоположение на выходе из канала, значение и направление векторов скоростей частиц определялись методом компьютерного моделирования с применением программного комплекса Solidworks Flow Simulation и двумя экспериментально-теоретическими методами. Последние основаны на учете реального поля скоростей воздушного потока в ПСК на режимах с зерновой нагрузкой и без нее. Выполнено сравнение расчетных значений конструктивных параметров с результатами экспериментальных исследований разделительной камеры. Установлено, что методы расчета траекторий частиц зерновых примесей оказывают значительное влияние на длину разделительной камеры и высоту выходного окна. Наибольшая длина разделительной камеры 0,75 м потребует при компьютерном моделировании поля скоростей в ПСК. Гораздо меньшие значения (0,50 и 0,45 м) необходимы при расчете траекторий частиц в ПСК с использованием полей скоростей, полученных экспериментально-теоретическими методами. В процессе экспериментального исследования разделительной камеры при очистке семян пшеницы была определена оптимальная длина разделительной камеры, равная 0,55 м при высоте выходного окна 0,30 м. Таким образом, наиболее близкими к экспериментальным данным являются расчетные значения конструктивных параметров разделительной камеры, полученные экспериментально-теоретическими методами, что позволяет рекомендовать их к использованию на стадии проектирования пневмосепараторов.

Ключевые слова: семена, фракционирование, пневматический сепаратор, компьютерное моделирование, экспериментально-теоретические методы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0002).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А., Мокиев В. Ю. Обоснование основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора с использованием различных методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):402-410.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410>

Поступила: 25.03.2022

Принята к публикации: 23.05.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Substantiation of the main design parameters of the separation chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel

© 2022. Aleksander I. Burkov, Andrei L. Glushkov, Victor A. Lazykin[✉],
Valentin Yu. Mokiev

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

The article presents a study of the influence of methods for calculating particle trajectories in the pneumatic separation channel (PSC) on the design parameters of the separation chamber (length and height of the exit window), completed in 2013-2021. The field of air flow velocities and trajectories of spring wheat seed material components in the separation

chamber of fractioning pneumatic seed separator was constructed. The initial data for the calculation were the information obtained earlier when calculating the trajectories of particles in the PSC by various methods. The location at the outlet of the channel, the value and direction of the particle velocity vectors were determined by computer modelling using the Solidworks Flow Simulation software package and two experimental and theoretical methods. They took into account the real velocity field of the air flow with and without grain load. The obtained values of the design parameters are compared with the results of experimental studies of the separation chamber. It should be noted that the methods of calculating the trajectories of grain impurity particles have a significant impact on the length of the separation chamber and the height of the exit window. The maximum length of the separation chamber of 0.75 m will be required for computer modelling of the velocity field in the PSC. Much smaller values of 0.50 m and 0.45 m will be required when calculating the trajectories of particles in the PSC using the velocity field obtained by experimental and theoretical methods. During the experimental study of the separation chamber during the cleaning of wheat seeds, the optimal length of the separation chamber was determined to be 0.55 m with an exit window height of 0.30 m. Thus, the values of the design parameters of the separation chamber obtained by experimental and theoretical methods are the closest to experimental data, which makes it possible to recommend them for use at the design stage of pneumatic separators.

Keywords: seeds, fractionation, pneumatic separator, computer modelling, experimental and theoretical methods

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0002).

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

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

For citation: Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazukin V. A., Mokiev V. Yu. Substantiation of the main design parameters of the separator chamber of the pneumatic separator using various methods for calculating particle trajectories in the pneumoseparating channel. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):402-410. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.402-410>

Received: 25.03.2022

Accepted for publication: 23.05.2022

Published online: 23.06.2022

Расчёт траектории частиц компонентов зернового материала в зоне сепарации используется научно-техническими работниками при обосновании конструктивных параметров рабочих органов пневмосистем – сепарирующих каналов, осадочных и разделительных камер, воздухоподводящих и отводящих каналов.

Для расчета траекторий частиц применяются различные методы, в основе которых лежит анализ поля векторов скоростей. Поле векторов скоростей описывается известными аналитическими зависимостями, численно моделируется с помощью пакетов прикладных программ [1, 2, 3, 4] или измеряется экспериментальным путем. В работе [5] для визуализации воздушного потока используются линии тока. Целью работы [6] явилось создание параметрической модели процесса разделения фрагментированных смесей, которую можно использовать для определения параметров перемещения компонентов смесей в воздушных каналах. В работе [7] для исследования воздушного потока была использована технология велосиметрии изображения частиц (PIV). Численно моделируется воздушный поток с помощью метода дискретных элементов в работе [8]. Математическое моделирование движения воздушного потока в пневмосистеме с использованием конечно-объемного метода решения уравнений гидродинамики на прямоугольной адаптивной сетке позволило обосновать размеры осадочных камер и снизить

гидравлическое сопротивление пневмосистемы зерноочистительной машины [9, 10]. В данной статье авторами изучается влияние методов расчета ПСК на конструктивные параметры разделительной камеры. При этом расчетные траектории частиц в канале и его отводе, получены при теоретическом описании поля скоростей методом компьютерного моделирования и экспериментально-теоретическими методами [11, 12], которые основаны на учете реального поля скоростей воздушного потока на режимах с зерновой нагрузкой и без нее.

Цель исследования – обосновать основные конструктивные параметры разделительной камеры пневмосепаратора с использованием теоретического и экспериментального поля скоростей в пневмосепарирующем канале при работе вхолостую и с зерновой нагрузкой и выявить наиболее точные методы расчета.

Научная новизна исследований заключается в выявлении методов расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале на стадии проектирования пневмосепаратора, наиболее совпадающих с экспериментальными данными.

Материал и методы. Исследование по определению основных конструктивных параметров разделительной камеры пневмосепаратора проводили в 2013-2021 гг. На первом этапе было построено поле скоростей воздушного потока в разделительной камере фракционного сепаратора семян СП-2Ф [13]. Далее произведен расчет и построение траекторий

компонентов семенного материала яровой пшеницы. Исходными данными для расчета (местоположение на выходе из ПСК, значение и направление вектора скорости частиц) являлись сведения, полученные ранее при расчете траекторий частиц в ПСК и его отводе различными методами. Затем было выполнено сравнение расчетных значений конструктивных параметров с результатами экспериментальных исследований разделительной камеры [14].

Для исследования была использована разделительная камера (рис. 1), имеющая следующие конструктивные параметры в продольно-вертикальной плоскости: длина разделительной камеры $2 L_{P.K.} = 0,75$ м, глубина отвода ПСК $h_{отв} = 0,30$ м, глубина отвода первой части канала $h_{отв.1} = 0,18$ м, глубина

разделительной камеры $H_{P.K.} = 0,80$ м, глубина выходного окна разделительной камеры $h_{вых} = 0,30$ м (входная и выходная кромки передней и задней стенок разделительной камеры находятся на одном уровне), глубина входного окна патрубка жалюзийно-противоточного пылеуловителя $4 h_{вх} = 0,21$ м (определяется положением выходной кромки жалюзийной решетки 3). Начальный участок жалюзийной решетки 3 примыкает к верхней стенке камеры в месте соединения ее с наружной стенкой отвода ПСК 1. Разделительная камера снабжена перегородкой 5, на верхней кромке которой установлен поворотный клапан 6.

Средняя скорость воздушного потока в I части канала составляла 8,5 м/с, во II части канала – 12,0 м/с.

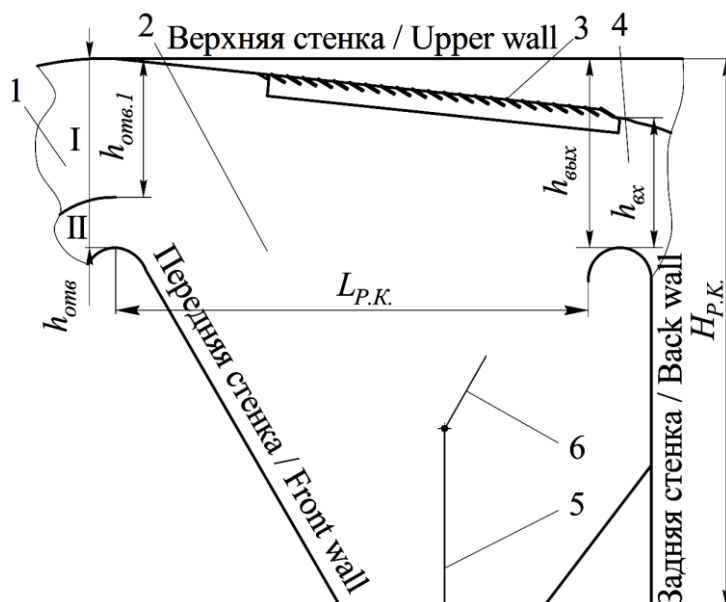


Рис. 1. Схема разделительной камеры фракционного сепаратора семян СП-2Ф: I и II – первая и вторая части ПСК; 1 – отвод ПСК; 2 – разделительная камера; 3 – жалюзийная решетка; 4 – входное окно патрубка жалюзийно-противоточного пылеуловителя; 5 – перегородка; 6 – поворотный клапан /

Fig. 1. Diagram of the separation chamber of the fractional seed separator SP-2F: I and II – the first and second parts of the PSC; 1 – PSC outlet; 2 – separation chamber; 3 – duster; 4 – duster inlet; 5 – separation chamber partition; 6 – rotary valve

Построение поля скоростей воздушного потока в разделительной камере выполнено с использованием метода конечных элементов для плоского потенциального течения потока. Далее методом математического моделирования был выполнен расчет и построены траектории частиц компонентов яровой пшеницы в разделительной камере.

С помощью полученных траекторий частиц можно определить, в первом приближении, основные параметры разделительной камеры: длину $L_{P.K.}$ и высоту $h_{вых}$ выходного окна (координаты выходной кромки задней

стенки). При этом необходимо учитывать следующие технологические и конструктивные требования:

1. Максимальное удаление частиц легких примесей (в рассматриваемом примере, имеющих скорость витания $V_{вит} = 1,0...5,0$ м/с) из разделительной камеры в пылеуловитель при минимальной длине $L_{P.K.}$ разделительной камеры и отсутствии потерь фуражного зерна в неиспользуемые отходы.

2. Разделение поступающего из ПСК материала на семенную и фуражную фракции.

Результаты и их обсуждение. По результатам расчета были получены значения вертикальной и горизонтальной составляющих

скорости воздушного потока в центрах конечных элементов и построено поле скоростей в разделительной камере (рис. 2).

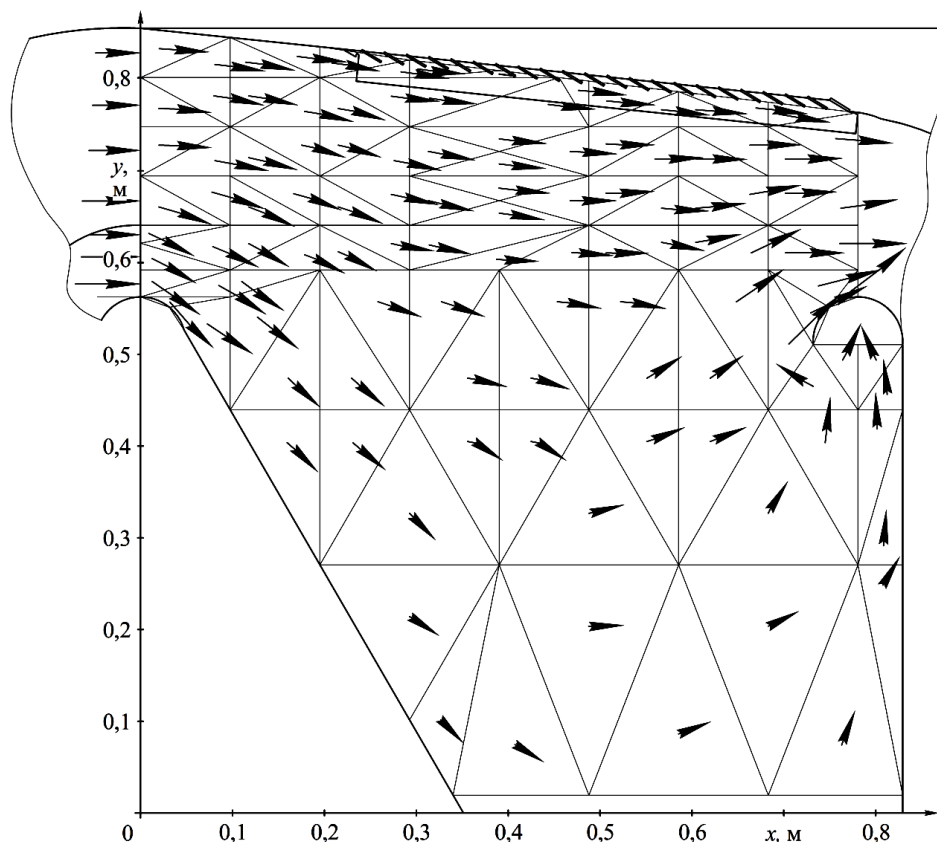


Рис. 2. Расчетное поле скоростей воздушного потока в разделительной камере при средней скорости воздуха на выходе из отвода ПСК: для I части канала – 8,5 м/с; для II части канала – 12,0 м/с /

Fig. 2. The calculated field of air flow velocities in the separation chamber at the average air velocity at the exit from the PSC outlet: for the first I part of the channel – 8.5 m/s; for the second II part of the channel – 12.0 m/s

Наибольшие скорости воздушного потока наблюдаются в верхней части разделительной камеры, при этом на выходе из нее скорости выше, чем на входе. Это происходит за счет сужения входного окна патрубка противоточного пылеуловителя $h_{\text{вх}}$ с 0,30 м до 0,21 м (переток некоторой части очищенного воздуха через жалюзийную решетку, минуя противоточный пылеуловитель, не учитывается). Векторы скорости воздушного потока на выходе из I части ПСК практически не изменяют своего направления и имеют положение, близкое к горизонтальному. Поэтому можно предположить, что легкие частицы со скоростями витания меньше скорости воздушного потока, поступающие в разделительную камеру из первой части ПСК, будут перемещаться к выходу без осаждения и поступать в жалюзийно-противоточный пылеуловитель.

Векторы скорости воздушного потока на выходе из II части ПСК имеют большую

направленность вниз по оси y . Поэтому воздушный поток направлен вниз разделительной камеры, где он совершает V-образное движение и выходит из нее в пылеуловитель. Такое течение воздушного потока будет способствовать интенсивному осаждению в разделительной камере наиболее тяжелых частиц компонентов зернового материала, поступающих из второй части ПСК.

На рисунке 3 изображены траектории частиц с исходными параметрами на выходе из отвода, полученными при использовании поля скоростей в ПСК, рассчитанного методом математического моделирования с применением программного комплекса Solidworks Flow Simulation [15, 16]. На рисунках 4 и 5 представлены траектории частиц с исходными параметрами на выходе из отвода, рассчитанные при использовании реального поля скоростей воздушного потока в ПСК на холостом режиме и при номинальной зерновой нагрузке.

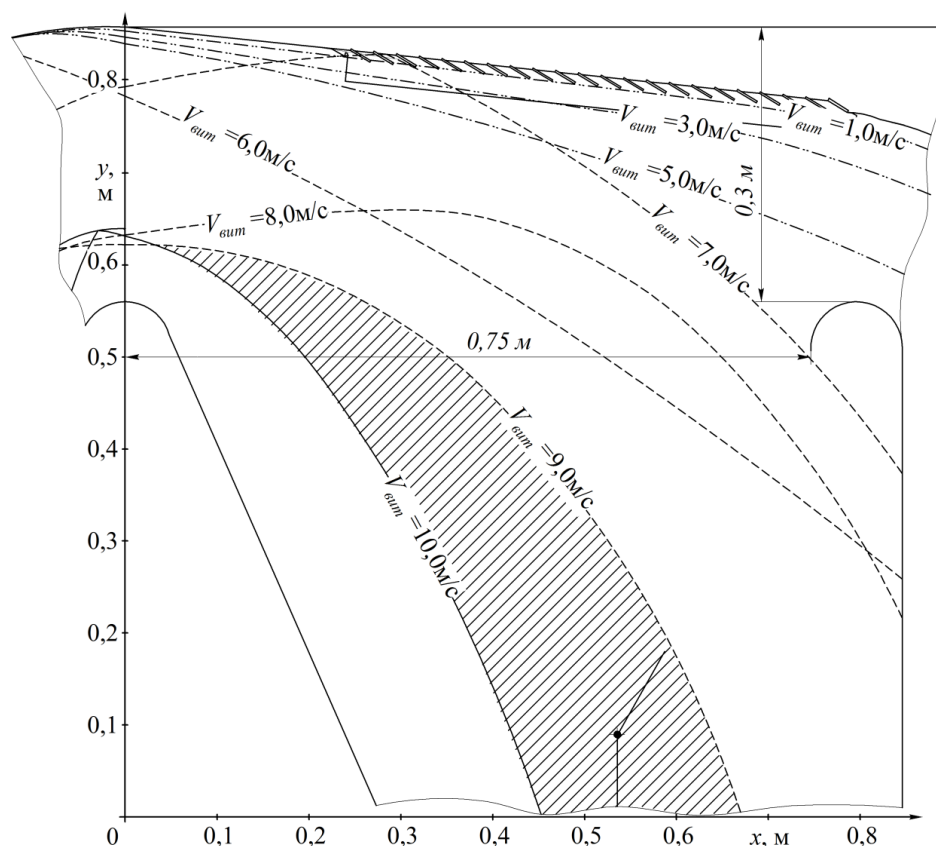


Рис. 3. Расчетные траектории частиц в разделительной камере, полученные при использовании для построения поля скоростей в ПСК методом математического моделирования, при средней скорости воздушного потока на выходе из отвода ПСК: в I части канала – 8,5 м/с, во II части канала – 12,0 м/с; — — — — — яровая пшеница; — — — — — зерновая примесь; — — — — — легкие примеси /

Fig. 3. Calculated trajectories of particles in the separation chamber obtained when using mathematical modeling to construct the velocity field in the PSC, with an average air flow velocity at the exit from the PSC outlet: in the first I part of the channel – 8.5 m/s, in the second II part of the channel – 12.0 m/s; — — — — — spring wheat; — — — — — grain admixture; — — — — — light impurities

Исходя из траекторий частиц яровой пшеницы и ее примесей, изображенных на рисунке 3, можно констатировать, что все легкие примеси ($V_{взм} = 1,0 \dots 5,0$ м/с) будут поступать в пылеуловитель, не осаждаясь в разделительной камере. Частицы зерновой примеси со скоростями витания $6,0 \dots 8,0$ м/с, за счет высоких начальных скоростей, оседают во второй половине камеры, ближе к задней стенке. В связи с этим, длина $L_{Р.К.}$ камеры должна быть не менее 0,75 м, так как при горизонтальном перемещении задней стенки в сторону отвода ПСК зерновая примесь будет попадать в пылеулавливающее устройство. Размещение кромки поворотного клапана в заштрихованной зоне дает возможность разделить осаждаемый материал на две фракции. При этом одна фракция будет содержать преимущественно семена пшеницы, а вторая – зерновую примесь.

Траектории частиц яровой пшеницы, зерновых и легких примесей в разделительной камере, полученные при построении поля скоростей в ПСК экспериментальным путем без зерновой нагрузки (рис. 4), показывают следующее. При уменьшении длины разделительной камеры с 0,75 м до 0,50 м путем перемещения задней стенки, верхняя кромка которой расположена на расстоянии 0,3 м от верхней стенки камеры, все легкие примеси ($V_{взм} = 1,0 \dots 5,0$ м/с) будут поступать в пылеуловитель. Если кромку поворотного клапана разместить между траекториями частиц со скоростью витания 9,0 и 10,0 м/с, осаждаемый материал разделится на две фракции. При этом более тяжелая фракция, которая располагается ближе к передней стенке, будет содержать в основном семена пшеницы, а вторая фракция – зерновые примеси и небольшое количество семян пшеницы.

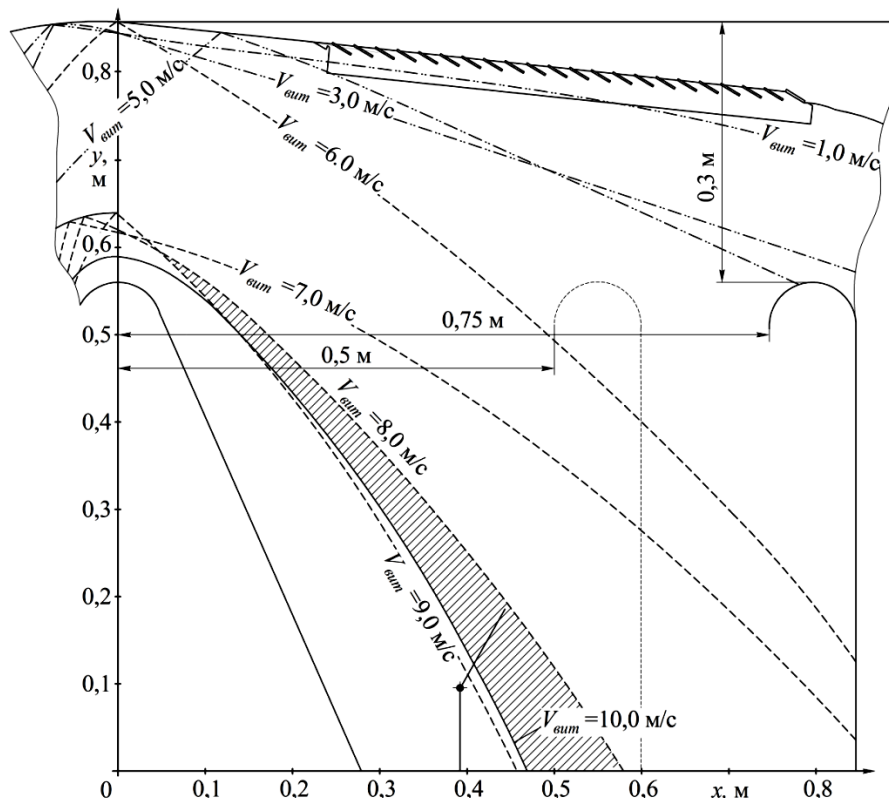


Рис. 4. Расчетные траектории частиц в разделительной камере, полученные при использовании для определения поля скоростей в ПСК экспериментального метода без зерновой нагрузки, при средней скорости воздушного потока на выходе из отвода ПСК: в I части канала – 8,5 м/с, во II части канала – 12,0 м/с; — — — — — яровая пшеница; — — — — — зерновая примесь; — — — — — легкие примеси /

Fig. 4. Calculated trajectories of particles in the separation chamber obtained when using the experimental method without grain load for determining the velocity field in the PSC, with an average air flow velocity at the exit from the PSC outlet: in the first I part of the channel – 8.5 m/s, in the second II part of the channel – 12.0 m/s; — — — — — spring wheat; — — — — — grain admixture; — — — — — light impurities

При построении поля скоростей в ПСК экспериментальным путем с зерновой нагрузкой траектории легких примесей в разделительной камере (рис. 5) располагаются компактно в ее верхней части, как и в двух предыдущих способах расчета, а траектории зерновых примесей находятся на большем удалении от задней стенки. Поэтому длину $L_{Р.К.}$ разделительной камеры можно уменьшить до 0,45 м. Кроме того, при данном методе расчета в разделительную камеру не поступают частицы пшеницы со скоростью витания 10,0 м/с. В связи с этим выделить фракцию полноценных семян пшеницы в разделительной камере при данном скоростном режиме (12,0 м/с во II части ПСК) невозможно. Весь осаждаемый материал в разделительной камере представляет собой фуражную фракцию (зерновая примесь и легкие зерновки пшеницы).

Сравнивая траектории однотипных частиц, рассчитанные различными методами, следует отметить, что движение легких примесей со скоростями витания 1,0...5,0 м/с мало отли-

чается друг от друга и на координаты выходной кромки задней стенки разделительной камеры существенного влияния не оказывают. Значительное влияние на длину $L_{Р.К.}$ разделительной камеры и высоту $h_{вых}$ выходного окна (координаты выходной кромки задней стенки) оказывают методы расчета траекторий частиц зерновых примесей в ПСК. Наибольшая длина разделительной камеры $L_{Р.К.} = 0,75$ м потребуется при математическом моделировании поля скоростей в ПСК.

Гораздо меньшие значения $L_{Р.К.}$ (0,50 и 0,45 м) необходимы при расчете траекторий частиц в ПСК с использованием поля скоростей, полученного экспериментальным путем соответственно без зерновой нагрузки и при подаче зерна. Разделение на семенную и фуражную фракции поступающего из ПСК материала при всех методах расчета траекторий не зависит от длины камеры, а достигается установкой поворотного клапана в соответствующее положение.

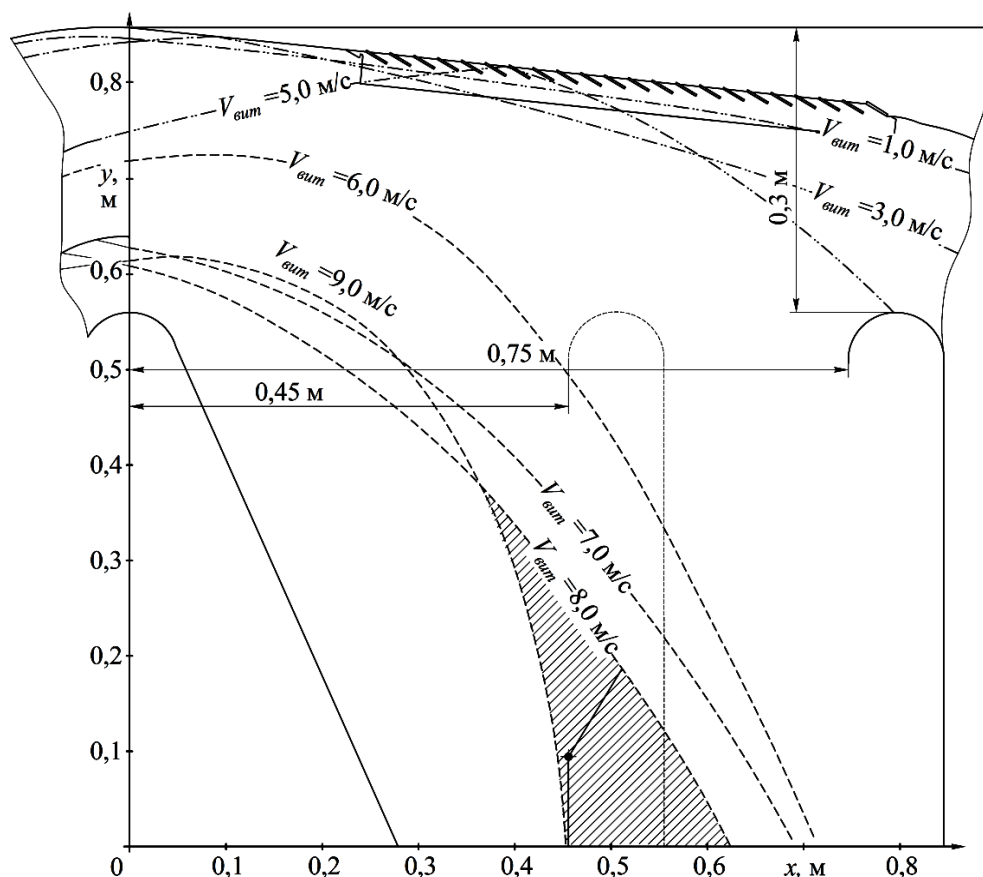


Рис. 5. Расчетные траектории частиц в разделительной камере, полученные при использовании для определения поля скоростей в ПСК экспериментального метода с зерновой нагрузкой, при средней скорости воздушного потока на выходе из отвода ПСК: в I части канала – 8,5 м/с; во II части канала – 12,0 м/с; — — — — — яровая пшеница; — — — — — зерновая примесь; — — — — — легкие примеси /

Fig. 5. Calculated trajectories of particles in the separation chamber obtained by using the experimental grain-loaded method to determine the velocity field in the PSC, with an average air flow velocity at the exit from the PSC outlet: in the first I part of the channel – 8.5 m/s; in the second II part of the channel – 12.0 m/s; — — — — — spring wheat; — — — — — grain admixture; — — — — — light impurities

В процессе экспериментального исследования разделительной камеры при очистке семян пшеницы была выявлена возможность уменьшения длины $L_{Р.К.}$ разделительной камеры от 0,75 м до 0,55 м при высоте выходного окна $h_{вых} = 0,30$ м. При данных параметрах камеры обеспечивается удаление всех легких примесей в пылеуловитель и разделение поступающего в камеру материала на семенную и фуражную фракции. При этом тяжелая фракция, осаждаемая в первой части разделительной камеры, соответствует по чистоте категории РС и РС_Т репродукционных семян товарного назначения.

Выводы. Методы расчета траекторий частиц в пневмосепарирующем канале оказывают существенное влияние на их траектории в разделительной камере и, как следствие, на ее длину $L_{Р.К.}$ и высоту $h_{вых}$ выходного окна. Наиболее близкими к экспериментальным

данным являются расчетные значения конструктивных параметров разделительной камеры, полученные при расчете траекторий частиц в пневмосепарирующем канале экспериментально-теоретическими методами, основанные на реальном поле скоростей воздушного потока на режимах с зерновой нагрузкой и без нее. При высоте выходного окна $h_{вых} = 0,30$ м оптимальная длина $L_{Р.К.}$ разделительной камеры, установленная экспериментально, составляет 0,55 м, математическом моделировании поля скоростей в пневмосепарирующем канале – 0,75 м, при использовании поля скоростей, полученного экспериментальным путем – 0,50 и 0,45 м соответственно без зерновой нагрузки и при подаче зерна. Рекомендуются к использованию на стадии проектирования пневмосепараторов оба экспериментально-теоретических метода.

Список литературы

1. Piven V. V. Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018;1059:012001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012001>
2. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., Dick E., Arslanbekova S. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. Journal of Applied Engineering Science. 2019;17(4):529-534. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes17-22640>
3. Бутовченко А. В., Дорошенко А. А., Савченко А. А., Шубин А. И. Использование программного комплекса "FLOWVISION" для определения характеристик воздушного потока в пневмоканале. Состояние и перспективы развития сельскохозяйственного машиностроения: мат-лы 7-ой Междунар. науч.-практ. конф. в рамках 17-ой Междунар. агропромышленной выставки «Интерагромаш-2014». Ростов н/Д: Донской ГТУ, 2014. С. 52-54.
4. Мударисов С. Г., Бадретдинов И. Д. Оптимизация параметров пневматической системы зерноочистительной машины. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2011;(1):6-7.
5. Sane S., Bujack R., Garth C., Childs H. A survey of seed placement and streamline selection techniques. Computer Graphics Forum. 2020;39(3):785-809. DOI: <https://doi.org/10.1111/cgf.14036>
6. Panasiewicz M., Mazur J., Zawislak K., Kulig R., Łysiak G. The Process of Separation of Husked Soybean in Oblique Airflow. Department of Food Engineering and Machines, University of Life Sciences in Lublin. 2020;12(18):7566. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187566>
7. Xinpeng L., Jialiang Z., Jiangtao J. Analysis of Airflow Velocity Field Characteristics of an Oat Cleaner Based on Particle Image Velocimetry Technology Applied Engineering in Agriculture. 2019;35(2):193-201. DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.12999>
8. Lizhang X., Yang L., Xiaoyu C., Guimin W. Numerical simulation of gas-solid two-phase flow to predict the cleaning performance of rice combine harvesters. Biosystems Engineering. 2020;190(4):11-24. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.014>
9. Гиевский А. М. Снижение энергозатрат на работу двух аспирационной пневмосистемы. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2016;(1):2-4.
10. Giyeveskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018;327:042035. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042035>
11. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Усовершенствованный экспериментально-теоретический метод расчёта траектории частиц в пневмосепарирующем канале. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(3(64)):87-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.87-92>
12. Бурков А. И., Глушков А. Л., Лазыкин В. А. Расчет траекторий частиц в пневмосепарирующем канале различными методами. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(1):62-70. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.62-70>
13. Бурков А.И., Баталова Г.А., Глушков А.Л., Лазыкин В.А. Подготовка высококачественных семян с использованием пневмосепараторов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(2(57)):72-76. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.57.2.72-76>
14. Lazykin V., Burkov A., Glushkov A., Mokiye V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. Engineering for Rural Development. 2021;20:181-186. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF037>
15. Zhukovetskaya S. Air flowing spatial modeling and simulation with Solidworks CAD. Zeszyty Naukowe Wydziału Elektroniki i Informatyki. 2018;13:79-87. URL: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0e92a018-6f21-48cf-ae47-cf138a92f844>
16. Jiang H., Lu L., Sun K. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of particle deposition in a two-dimensional turbulent channel air flow: study of influence factors: Indoor Built Environ 2012;21(2):264-272. DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X11414939>

References

1. Piven V. V. Determination of the Extent of Fraction in Air Separation of Grain Material. IOP Conf. Series: Journal of Physics: Conf. Series. 2018;1059:012001. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1059/1/012001>
2. Badretdinov I., Mudarisov S., Tuktarov M., Dick E., Arslanbekova S. Mathematical modeling of the grain material separation in the pneumatic system of the grain-cleaning machine. Journal of Applied Engineering Science. 2019;17(4):529-534. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes17-22640>
3. Butovchenko A. V., Doroshenko A. A., Savchenko A. A., Shubin A. I. Using the "FLOWVISION" software package to determine the characteristics of the air flow in the pneumatic channel. The state and prospects for the development of agricultural engineering: Proceedings of the 7th International Scientific and Practical Conference within the framework of the 17th International Scientific and Practical Conference. agro-industrial exhibition "Interaгромаш-2014". Rostov n/D: *Donskoy GTU*, 2014. pp. 52-54.
4. Mudarisov S. G., Badretdinov I. D. Optimization of the parameters of the pneumatic system of the grain cleaning machine. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2011;(1):6-7. (In Russ.).
5. Sane S., Bujack R., Garth C., Childs H. A survey of seed placement and streamline selection techniques. Computer Graphics Forum. 2020;39(3):785-809. DOI: <https://doi.org/10.1111/cgf.14036>
6. Panasiewicz M., Mazur J., Zawislak K., Kulig R., Łysiak G. The Process of Separation of Husked Soybean in Oblique Airflow. Department of Food Engineering and Machines, University of Life Sciences in Lublin. 2020;12(18):7566. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12187566>

7. Xinping L., Jialiang Z., Jiangtao J. Analysis of Airflow Velocity Field Characteristics of an Oat Cleaner Based on Particle Image Velocimetry Technology Applied Engineering in Agriculture. 2019;35(2):193-201.
DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.12999>
8. Lizhang X., Yang L., Xiaoyu C., Guimin W. Numerical simulation of gas-solid two-phase flow to predict the cleaning performance of rice combine harvesters. Biosystems Engineering. 2020;190(4):11-24.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2019.11.014>
9. Gieyevskiy A. M. Reduction of energy consumption for the operation of a two-air pneumatic system. *Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva*. 2016;(1):2-4. (In Russ.).
10. Gieyevskiy A. M., Orobinsky V. I., Tarasenko A. P., Chernyshov A. V., Kurilov D. O. Substantiation of basic scheme of grain cleaning machine for preparation of agricultural crops seeds IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering. 2018;327:042035. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/327/4/042035>
11. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. An improved experimental-theoretical method for calculating the particle trajectory in a pneumatic separating channel. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(3(64)):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.64.3.87-92>
12. Burkov A. I., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Calculation of particle trajectories in the pneumatic separation channel using various methods. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(1):62-70. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.1.62-70>
13. Burkov A. I., Batalova G. A., Glushkov A. L., Lazykin V. A. Preparation of high quality seeds using a pneumatic separator. *Agrarnayanauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(2(57)):72-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2017.57.2.72-76>
14. Lazykin V., Burkov A., Glushkov A., Mokiev V. Defining key design parameters for separation chamber of fractioning pneumatic seed separator. *Engineering for Rural Development*. 2021;20:181-186.
DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev.2021.20.TF037>
15. Zhukovetskaya S. Air flowing spatial modeling and simulation with Solidworks CAD. *Zeszyty Naukowe Wydziału Elektoniki i Informatyki*. 2018;13:79-87.
URL: <http://yadda.icm.edu.pl/yadda/element/bwmeta1.element.baztech-0e92a018-6f21-48cf-ae47-cf138a92f844>
16. Jiang H., Lu L., Sun K. Computational fluid dynamics (CFD) modeling of particle deposition in a two-dimensional turbulent channel air flow: study of influence factors: *Indoor Built Environ* 2012;21(2):264-272.
DOI: <https://doi.org/10.1177/1420326X11414939>

Сведения об авторах

Бурков Александр Иванович, доктор техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д.166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

Глушков Андрей Леонидович, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>

✉ **Лазыкин Виктор Алексеевич**, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>, e-mail: ellestar@bk.ru

Мокиев Валентин Юрьевич, кандидат техн. наук, научный сотрудник лаборатории зерно- и семяочистительных машин, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д.166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

Information about the authors

Alexander I. Burkov, DSc in Engineering, professor, leading researcher, Head of the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5287-1532>

Andrei L. Glushkov, PhD in Engineering, senior researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1448-9930>

✉ **Victor A. Lazykin**, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3910-8620>, e-mail: ellestar@bk.ru

Valentin Yu. Mokiev, PhD in Engineering, researcher, the Laboratory of Grain and Seed Cleaning Machines, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3368-1151>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Теоретические предпосылки к обоснованию параметров смесителя белково-минерально-витаминных добавок

© 2022. Е. В. Авакимянц 

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Для повышения эффективности смешивания белково-минерально-витаминных добавок для КРС возможно применить подход, при котором достигается перевод материала в псевдооживленное состояние. Исследование направлено на определение теоретических зависимостей скоростных и энергетических характеристик формирования псевдооживленного слоя от физико-механических свойств смешиваемого материала и конструктивно-кинематических параметров смесителя и выполнялось в 2021 г. Для уточнения характеристик процесса смешивания добавок в режиме псевдооживления вводится коэффициент структурно-механического сопротивления дисперсной многокомпонентной системы. Получены уравнения, характеризующие скорость перемещения частиц и затраты энергии на обеспечение движения частиц в псевдооживленном слое под воздействием лопастной мешалки. Для изучения влияния порозности слоя и угла наклона лопасти смесителя на скоростные характеристики движения частиц смеси построено графическое решение уравнения потерь скорости частиц при значении скорости на краю лопасти 5 м/с. Установлено, что изменение порозности слоя оказывает значительное влияние на скорость частиц смеси. Наибольшие потери составляют более 4,5 м/с и наблюдаются при наименьшем значении порозности – 0,14 и наибольшем угле наклона лопасти – 75°. Наименьшие потери составляют менее 0,5 м/с и соответствуют наибольшей порозности – 0,34 и наименьшему углу наклона лопасти – 15°. Таким образом, в рассматриваемых координатах наблюдается снижение скорости частицы на 10-90 %.

Ключевые слова: смешивание, лопастной смеситель, псевдооживленное состояние, кормовая добавка, кормосмесь, физико-механические характеристики

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (№ FGUN-2022-0010).

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Авакимянц Е. В. Теоретические предпосылки к обоснованию параметров смесителя белково-минерально-витаминных добавок. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(3):411-416.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.411-416>

Поступила: 18.03.2022

Принята к публикации: 25.04.2022

Опубликована онлайн: 23.06.2022

Theoretical background to substantiation of the parameters of mixer for protein, mineral and vitamin additives

© 2022. Evgeny V. Avakimyants 

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Saint Petersburg, Russian Federation

One way to improve the mixing efficiency of protein-mineral-vitamin additives for cattle diets is to fluidize the material. The aim of the study is to define theoretical dependences between the speed and energy characteristics of the formation of a fluidized bed on the physical and mechanical properties of mixing substances and on structural and kinematic parameters of the mixer. The research was carried out in 2021. A coefficient of structural and mechanical resistance of the disperse many-component system was introduced to clarify the characteristics of additives mixing in the fluidization mode. The obtained equations described the particle velocity and the energy consumption for the particle flow in a fluidized bed influenced by a blade mixer. Next step was to reveal the effect of the layer porosity and the mixer blade angle on the particle velocity in the mixture. The velocity loss equation was solved as a graph for the value of 5 m/s at the blade edge. The variation in the layer porosity had a significant effect on considered parameter. The greatest velocity loss exceeded 4.5 m/s observed at the smallest porosity of 0.14 and the biggest blade angle of 75°. The smallest loss was below 0.5 m/s at the largest porosity of 0.34 and the smallest blade angle of 15°. Thus, the decrease in the particle velocity by 10 to 90 % was observed in the considered coordinates.

Keywords: mixing, blade mixer, fluidized state, feed additive, feed mix, physical and mechanical properties

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN-2022-0010).

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

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

For citations: Avakimyan E. V. Theoretical background to substantiation of the parameters of mixer for protein, mineral and vitamin additives. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(3):411-416. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.411-416>

Received: 18.03.2022

Accepted for publication: 25.04.2022

Published online: 23.06.2022

Использование белково-минерально-витаминных добавок (БМВД) в рационах крупного рогатого скота является одним из важнейших условий формирования здорового и высокопродуктивного поголовья [1]. Большой спектр производимых добавок позволяет специалистам составлять оптимальные рационы по питательности, макро- микроэлементам и витаминам в зависимости от условий содержания, продуктивности и прочих факторов [2, 3]. БМВД представляют собой мелкодисперсные порошкообразные материалы со схожими физико-механическими свойствами [4, 5]. Для их смешивания применяются центробежные смесители с вертикальным валом и лопастной радиальной мешалкой¹. В ряде исследований разработаны конструкции таких смесителей с помощью метода, основанного на равенстве моментов, создаваемых вращающимися лопастями мешалки и возникающих сопротивлений стенок корпуса аппарата [6, 7]. При этом процесс смешивания характеризуется высокими удельными энергозатратами.

Для повышения эффективности и качества смешивания БМВД возможно применить подход, при котором достигается состояние псевдооживления материала^{2,3} [8]. Псевдооживление материала быстро вращающейся лопастной мешалкой проходит в несколько этапов и связано с увеличением высоты слоя материала, уменьшением его плотности и интенсификацией движения частиц смеси. Следствием этого является снижение времени смешивания и энергозатрат на преодоление сопротивления материала.

Цель исследования – определение теоретических зависимостей скоростных и энергетических характеристик для обеспечения формирования псевдооживленного слоя частиц

в зависимости от физико-механических свойств смешиваемого материала и конструктивно-кинематических параметров смесителя БМВД.

Научная новизна заключается в получении зависимостей, характеризующих параметры движения частиц в псевдооживленном слое под воздействием лопастной мешалки с учетом структурно-механических характеристик дисперсной многокомпонентной системы.

Материал и методы. Теоретические исследования по определению скорости и энергии движения частиц БМВД при взаимодействии с лопастью мешалки выполнены с помощью известных положений теоремы об изменении количества движения⁴. Теоретические исследования по определению массы частиц и порозности слоя БМВД выполнены с привлечением известных положений теории упаковки дискретных сред⁵. В качестве исходных данных использовались результаты экспериментальных исследований физико-механических свойств БМВД, полученные ранее [4, 5, 9]. Обработка данных выполнена с помощью пакетов MS Excel и STATGRAPHICS. Исследования и обработку данных проводили в 2022 г.

Результаты и их обсуждение. Для определения степени изменения количества движения частиц в результате соударения необходимо определить начальную скорость частиц. Скорость частиц является одним из определяющих факторов. Доказано, что материал переходит в псевдооживленное состояние при достижении окружной скорости $u_0 = 5...8$ м/с⁶. При этом объем материала увеличивается на 10-15 %, циркуляция материала становится очень интенсивной, на его поверхности образуются крупные волны.

¹Федоренко И. Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов: учебное пособие. М.: Форум, 2007. 176 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01003323730>

²Макаров Ю. И. Аппараты для смешивания сыпучих материалов. М.: Машиностроение, 1973. 216 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007350286>

³Стренк Ф. Перемешивание и аппараты с мешалками. Пер. с польск. Под ред. канд. техн. наук И. А. Щупляка. Л.: Химия. Ленингр. отд-ние, 1975. 384 с. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01007003652>

⁴Лейбович М. В. Теория удара в задачах и примерах: учеб. пособие [науч. ред. Е. Л. Маркова]. Хабаровск: Изд-во Тихоокеан. гос. ун-та, 2016. 236 с.

⁵Белов В. В., Образцов И. В., Иванов В. К. Коноплев Е. Н. Компьютерная реализация решения научно-технических и образовательных задач: учебное пособие. Тверь: ТвГТУ, 2015. 102 с.

⁶Макаров Ю. И. Указ. соч.

Рассмотрим изменение скорости частицы с помощью теоремы об изменении количества движения, которая в векторной форме имеет вид:

$$\vec{S} = m \cdot \Delta \vec{v}, \quad (1)$$

где m – масса материальной точки, кг.

Принимая во внимание положения теории упаковки дискретных сред, запишем условия верхней границы коэффициента заполнения трехмерного пространства при гексагональной решетчатой упаковке [10]:

$$k_3 = \frac{\pi}{\sqrt{18}}. \quad (2)$$

Для определения размеров частиц применяются различные методы дисперсионного анализа. Для материалов с размером частиц > 50 мкм применяется метод ситового анализа

с последующим построением интегральных и дифференциальных характеристик сыпучего материала, что позволяет определить средний диаметр частиц D_{cp} и соотношение долей частиц с различными размерами зерен [4, 9]. В дальнейшем будем рассматривать частицу как сферу, определяемую D_{cp} .

С учетом выражения (2) определим массу отдельной частицы по формуле:

$$m_{\text{ч}} = \frac{D_{cp}^3 \cdot \rho_n \cdot k_3}{6}, \quad (3)$$

где ρ_n – насыпная плотность материала, кг/м³.

На рисунке 1 показана расчетная схема векторов сил и скоростей при воздействии мешалки на частицу смеси с указанием угла наклона лопасти.

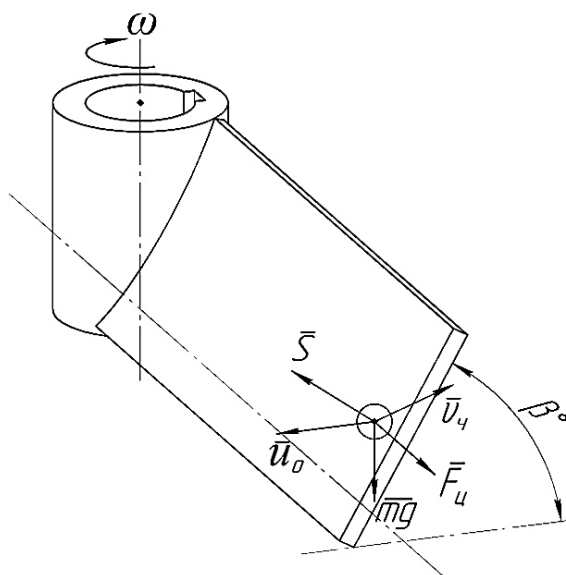


Рис. 1. Расчетная схема векторов сил и скоростей /
Fig. 1. Calculation scheme of force vectors and speeds

В общем случае движение частицы материала в радиальном направлении происходит за счет центробежной силы инерции:

$$F_{\text{ц}} = m \cdot \omega^2 \cdot r, \quad (4)$$

где ω – угловая скорость, рад/с;

r – расстояние до оси вращения, м.

Окружная скорость на краю лопасти мешалки определяется:

$$u_o = \frac{\pi \cdot L_{\text{л}} \cdot n}{30}, \quad (5)$$

где $L_{\text{л}}$ – длина лопасти, м;

n – частота вращения, мин⁻¹;

В работе [8] величина скорости движения частицы в радиальном направлении при схождении с поверхности лопасти определяется:

$$v_{\text{ч}} = \frac{n \cdot (a + L_{\text{л}})}{2 \cdot f_0}, \quad (6)$$

где a – расстояние от оси вращения до лопасти, м;

f_0 – коэффициент внешнего трения.

На скорость движения частиц по поверхности лопасти также влияет коэффициент внутреннего трения, гранулометрические характеристики частиц и характеристики дисперсной системы.

Для уточнения кинематических и энергетических характеристик процесса смешивания БМВД в режиме псевдоожижения предлагается ввести коэффициент структурно-механического сопротивления дисперсной многокомпонентной системы:

$$C_s = f(f_0; f; \varepsilon_i), \quad (7)$$

где f – коэффициент внутреннего трения;

ε_i – порозность слоя многокомпонентной смеси.

Порозность слоя представляет собой отношение объема пор – дисперсной среды к общему объему материала. Порозность характеризует степень уплотнения материала в процессе смешивания и степень межчастичного взаимодействия, что предопределяет энергозатраты. В зависимости от плотности

упаковки порозность слоя можно определить по формуле⁷:

$$\varepsilon = 1 - \frac{\pi}{6 \cdot (1 - \cos \gamma) \cdot \sqrt{1 + 2 \cos \gamma}} \quad (8)$$

где γ – угол между линиями, соединяющими центры сферических частиц.

Принимается, что угол между линиями, соединяющими центры сферических частиц, изменяется от 60° при гексагональной упаковке до 90° , когда центры сфер расположены в вершинах куба. Существующая формула применима лишь для систем, в которых дисперсная фаза представляет собой равные по размеру сферы.

Большинство БМВД, используемых в рационах КРС, имеют средний размер частиц $D_{cp} = 0,5-2$ мм и сложную несферическую форму, что негативно влияет на энергоёмкость смешивания [4, 11]. При этом смеси БМВД имеют неоднородный гранулометрический состав, хотя и обладают схожими физико-механическими свойствами [9]. Истинная порозность может значительно отличаться, ввиду того что в процессе уплотнения более мелкие частицы будут занимать пространство между крупными. Для определения порозности многокомпонентных смесей вводится коэффициент неоднородности гранулометрического состава⁸:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}, \quad (9)$$

где d_{10} и d_{60} – диаметры частиц, которых содержится в смеси менее 10 и 60 % соответственно.

С учетом коэффициента неоднородности гранулометрического состава порозность слоя многокомпонентной смеси примет вид:

$$\varepsilon_i = \frac{\varepsilon}{C_u}. \quad (10)$$

Коэффициент структурно-механического сопротивления многокомпонентной дисперсной системы примет вид:

$$C_s = \frac{\varepsilon_i}{f_0 \cdot f}. \quad (11)$$

Преобразовав выражения (6) и (11), определим скорость схода частицы с лопасти с учетом коэффициента структурно-механического сопротивления дисперсной многокомпонентной системы и окружной скорости на краю лопасти:

$$v_{\text{ч}} = \frac{\pi \cdot n \cdot (a + L_{\text{л}}) \cdot \varepsilon_i \cdot \cos \beta_L}{30 \cdot f_0 \cdot f}, \quad (12)$$

где β_L – угол наклона лопасти мешалки, град.

Полученное уравнение характеризует величину скорости перемещения частиц в толще псевдоожиженного слоя под воздействием лопастной мешалки. Тогда потери скорости частиц, обусловленные структурно-механическим сопротивлением дисперсной системы, определяются:

$$\Delta v_{\text{ч}} = \left(\frac{\pi \cdot (a + L_{\text{л}}) \cdot n}{30} \right) - \left(\frac{\pi \cdot n \cdot (a + L_{\text{л}}) \cdot \varepsilon_i \cdot \cos \beta_L}{30 \cdot f_0 \cdot f} \right) \quad (13)$$

Потери скорости характеризуют собой потерю частицей сообщенной ей кинетической энергии, возникающей за счет взаимодействия с лопастью. Таким образом, для перевода из состояния покоя в движение со скоростью $v_{\text{ч}}$ частицы материала массой $m_{\text{ч}}$ затрачивается энергия, равная:

$$E_{\text{ч}} = \frac{D_{cp}^3 \cdot \rho_n \cdot k_3}{12 \cdot C_s} \cdot \left(\frac{\pi \cdot n \cdot (a + L_{\text{л}}) \cdot \varepsilon_i \cdot \cos \beta_L}{30 \cdot f_0 \cdot f} \right)^2 \quad (14)$$

Полученное уравнение характеризует затраты энергии на обеспечение движения частиц смеси для формирования условий псевдоожижения с учетом физико-механических свойств смешиваемого материала и конструктивно-кинематических параметров смесителя БМВД.

С целью изучения влияния порозности слоя БМВД и угла наклона лопасти смесителя на скоростные характеристики движения частиц смеси построено графическое решение уравнения (13) при значении скорости на краю лопасти $u_o = 5$ м/с, соответствующем скорости начала псевдоожижения (рис. 2).

Анализируя график, можно сказать, что изменение порозности слоя оказывает значительное влияние на скорость частиц смеси. Наибольшие потери составляют более 4,5 м/с и наблюдаются при наименьшем значении порозности – 0,14 и наибольшем угле наклона лопасти – 75° . Наименьшие потери составляют менее 0,5 м/с, соответствуют наибольшей порозности – 0,34 и наименьшему углу наклона лопасти – 15° . Таким образом, в рассматриваемых координатах наблюдается снижение скорости частицы на 10-90 %. Высвобождаемая при этом энергия, затрачивается непроизводительно на сообщение частице остаточных деформаций и ее нагрев.

⁷Стренк Ф. Указ. соч.

⁸Фонарёва П. А. Геотехнические свойства гранулометрического состава грунтов: учебно-методическое пособие: М.: МАДИ, 2017. 56 с.

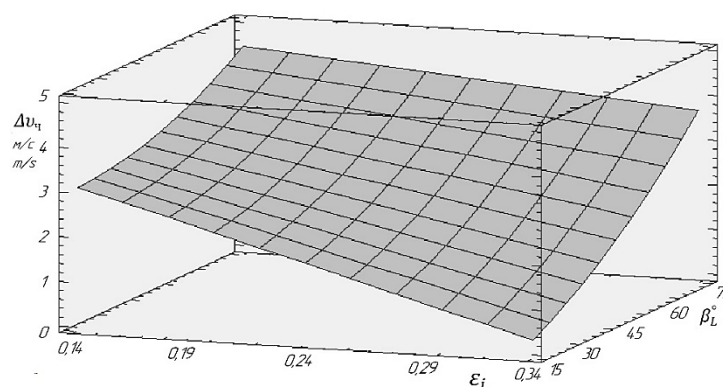


Рис. 2. Зависимость потерь скорости частицы от порозности слоя и угла наклона лопасти /
Fig. 2. Dependence between the particle velocity loss and the layer porosity and blade angle

Увеличение потерь скорости при снижении порозности связано с уплотнением слоя и ростом коэффициента структурно-механического сопротивления дисперсной системы. Это также подтверждается тем, что в начальные этапы смешивания, сопровождаемые уплотнением смеси, наблюдается значительный рост удельной мощности, но в последующие этапы, при увеличении окружной скорости, удельная мощность снижаются⁹. При увеличении угла наклона лопастей также наблюдается рост потерь скорости, что связано с увеличением сил сопротивления материала. Это соотносится с данными, полученными в работе [12]. Увеличение угла наклона лопасти отрицательно сказывается на формировании псевдооживленного слоя, тогда как уменьшение угла позволяет

частицам материала перемещаться свободнее, в связи с чем улучшается циркуляция материала и повышается однородность смеси [8].

Выводы. Получены теоретические зависимости скоростных и энергетических характеристик движения частиц БМВД под воздействием лопастной мешалки с учетом коэффициента структурно-механического сопротивления дисперсной системы в зависимости от порозности слоя и угла наклона лопасти. Наибольшие потери скорости частиц наблюдаются при наименьшем значении порозности – 0,14 и наибольшем угле наклона лопасти – 75°. Наименьшие потери соответствуют наибольшей порозности – 0,34 и наименьшему углу наклона лопасти – 15°. В целом наблюдается снижение скорости частицы на 10-90 %.

Список литературы

1. Westphalen M. F., Carvalho Pedro H. V., Joonpyo Oh., Hristov A. N., Staniar W. B., Felix T. L. Effects of feeding rumen-protected *Capsicum* oleoresin on growth performance, health status, and total tract digestibility of growing beef cattle. *Animal Feed Science and Technology*. 2021;271:114778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114778>
2. Stefańska B., Sroka J., Katzer F., Goliński P., Nowak W. The effect of probiotics, phytobiotics and their combination as feed additives in the diet of dairy calves on performance, rumen fermentation and blood metabolites during the preweaning period. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;272:114738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114738>
3. Humer E., Petri R. M., Aschenbach J. R., Bradford B. J., Penner G. B., Tafaj M., Südekum K. H., Zebeli Q. Invited review: Practical feeding management recommendations to mitigate the risk of subacute ruminal acidosis in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2018;101(2):872-888. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13191>
4. Avakimyan E. V., Gordeev V. V. Study of physical and mechanical properties of feed additives for cattle. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;723:032085. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032085>
5. Авакимянц Е. В., Гордеев В. В. Физико-механические свойства кормовых добавок для КРС. *АгроЭкоИнженерия*. 2020;(3(104)):100-108. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44354815>
6. Коновалов В. В., Чупшев А. В., Терюшков В. П., Шабурова Г. В. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2012;(1(17)):135-139. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17941622>
7. Чупшев А. В., Коновалов В. В., Терюшков В. П., Шабурова Г. В. Аналитическое определение параметров лопастных смесителей для турбулентного перемешивания сухих смесей. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*. 2012;(3(89)):88-91. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17653158>
8. Бражник Ю. В., Несмеянов Н. П., Горшков П. С. Лопастной смеситель для сухих строительных смесей с высокоскоростным режимом работы: монография. Белгород: Белгородский государственный технологический университет им. В. Г. Шухова, 2018. 131 с. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35396810>

⁹Макаров Ю. И. Указ. соч.

9. Avakimyants E. V., Gordeev V. V. Physical and mechanical properties of mixtures of feed additives for cattle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;979:012082. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/979/1/012082/pdf>
10. Burtseva L., Salas B. V., Werner F., Petranovskii V. Packing of monosized spheres in a cylindrical container: models and approaches. Revista Mexicana de Fisica. 2015;61:20-27. URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v61n1/v61n1a5.pdf>
11. Angga P. H., Jieqing G., Zongyan Z., Aibing Y. Numerical studies of mixing of ellipsoidal particles in a bladed mixer. Powder Technology. 2022; 398:117065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117065>
12. Chandratilleke G. R., Yu A. B., Stewart R. L., Bridgwater J. Effects of blade rake angle and gap on particle mixing in a cylindrical mixer. Powder Technology. 2009;193(3):303-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.03.007>

References

1. Westphalen M. F., Carvalho Pedro H. V., Joonpyo Oh., Hristov A. N., Staniar W. B., Felix T. L. Effects of feed-ing rumen-protected *Capsicum* oleoresin on growth performance, health status, and total tract digestibility of growing beef cattle. Animal Feed Science and Technology. 2021;271:114778. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2020.114778>
2. Stefańska B., Sroka J., Katzer F., Goliński P., Nowak W. The effect of probiotics, phytobiotics and their combination as feed additives in the diet of dairy calves on performance, rumen fermentation and blood metabolites during the preweaning period. Animal Feed Science and Technology. 2020;272:114738. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeeds.2020.114738>
3. Humer E., Petri R. M., Aschenbach J. R., Bradford B. J., Penner G. B., Tafaj M., Südekum K. H., Zebeli Q. Invited review: Practical feeding management recommendations to mitigate the risk of subacute ruminal acidosis in dairy cattle. Journal of Dairy Science. 2018;101(2):872-888. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2017-13191>
4. Avakimyants E. V., Gordeev V. V. Study of physical and mechanical properties of feed additives for cattle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;723:032085. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/723/3/032085>
5. Avakimyants E. V., Gordeev V. V. Physical and mechanical properties of feed additives for cattle. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2020;(3(104)):100-108. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44354815>
6. Konovalov V. V., Chupshev A. V., Teryushkov V. P., Shaburova G. V. Analytical definition of parameters the blade amalgamators for the turbulent hashing of dry mixes. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2012;(1(17)):135-139. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17941622>
7. Chupshev A. V., Konovalov V. V., Teryushkov V. P., Shaburova G. V. Analytical determination of the parameters of paddle mixers for turbulent mixing of dry mixtures. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012;(3(89)):88-91. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17653158>
8. Brazhnik Yu. V., Nesmeyanov N. P., Gorshkov P. S. Paddle mixer for dry building mixes with high-speed operation: monograph. Belgorod: *Belgorodskiy gosudarstvennyy tekhnologicheskii universitet im. V. G. Shukhova*, 2018. 131 p. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35396810>
9. Avakimyants E. V., Gordeev V. V. Physical and mechanical properties of mixtures of feed additives for cattle. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022;979:012082. URL: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/979/1/012082/pdf>
10. Burtseva L., Salas B. V., Werner F., Petranovskii V. Packing of monosized spheres in a cylindrical container: models and approaches. Revista Mexicana de Fisica. 2015;61:20-27. URL: <http://www.scielo.org.mx/pdf/rmfe/v61n1/v61n1a5.pdf>
11. Angga P. H., Jieqing G., Zongyan Z., Aibing Y. Numerical studies of mixing of ellipsoidal particles in a bladed mixer. Powder Technology. 2022; 398:117065. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2021.117065>
12. Chandratilleke G. R., Yu A. B., Stewart R. L., Bridgwater J. Effects of blade rake angle and gap on particle mixing in a cylindrical mixer. Powder Technology. 2009;193(3):303-311. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.03.007>

Сведения об авторе

✉ **Авакимянц Евгений Вячеславович**, аспирант, младший научный сотрудник, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, п. Тярлево, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7290-6299>, e-mail: avakimyants@gmail.com

Information about the author

✉ **Evgeny V. Avakimyants**, post-graduate student, junior researcher, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, the Russian Federation, 196625, e-mail: nii@sznii.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7290-6299>, e-mail: avakimyants@gmail.com

✉ – Для контактов / Corresponding author

