

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

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 24
№ 1
2023

Vol. 24
No. 1
2023

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

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

Регистрационный номер
ПН №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



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

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

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

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

Редакционный совет

**Андреев
Николай Руфеевич**

д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института 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

**Джаватов
Эдуард Джавадович**

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

**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 государственная 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 сайте 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-ru.com 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 первой странице
обложки первое фото
А. Широких

Подписано к печати
21.02.2023 г.

Дата выхода в свет
03.03.2023.

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 19,30.

Тираж 100 экз. Заказ 1.

Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

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

**Самоделькин
Александр
Геннадьевич**

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

**Сисягин
Павел Николаевич**

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

**Титова
Вера Ивановна**

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

**Токарев
Антон Николаевич**

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

**Урбан
Эрома Петрович**

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

**Цой
Юрий Алексеевич**

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

**Широких
Ирина Геннадьевна**

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

**Щеникова
Ирина Николаевна**

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

Changzhong Ren

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

Ivanovs Semjons

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

Marczuk Andrzej

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

Náhlík András

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

Poutanen Kaisa

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

Romaniuk Wazlaw

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

Yu Li

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

Редакционная коллегия

**Алешкин Алексей
Владимирович**

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

**Брандорф
Анна Зиновьевна**

д.с.-х.н., директор ФГБНУ «Федеральный научный центр по пчеловодству», г. Рыбное, Россия

**Бурков Александр
Иванович**

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

**Егошина Татьяна
Леонидовна**

д.б.н., профессор, зав. отделом экологии и ресурсосведения ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Россия

**Ивановский
Александр
Александрович**

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

**Козлова Людмила
Михайловна**

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

**Костенко Ольга
Владимировна**

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

**Рябова Ольга
Вениаминовна**

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

**Савельев Александр
Павлович**

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

**Товстик Евгения
Владимировна**

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

**Филатов
Андрей Викторович**

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

**Шешегова
Татьяна Кузьмовна**

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

**Юнусов Губейдулла
Сибятулович**

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

Agricultural Science Euro-North-East, 2023;24(1)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

The journal is published six times per year. DOI: 10.30766

© 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-ru.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 first page
covers first photo
A. Shirokikh

Passed for printing
21.02.2023 r.

Date of publication
03.03.2023.

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pccs. l. 19.30.

Circulation 100 copies. Order 1.
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, Nizhniy 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, 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. Sheshegova** 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

- О. Б. Поливанова, А. С. Егорова, А. Б. Сиволапова, С. В. Горюнова*
Технология протопластов и соматическая гибридизация картофеля – современное состояние и перспективы (обзор)..... 7
- О. И. Захарова, О. А. Бурова, И. В. Яшин, А. А. Блохин*
Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу животных в Российской Федерации (обзор)..... 20
- С. В. Брагинцев, О. Н. Бахчевников, К. А. Деев*
Влияние различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул (обзор)..... 30

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

- И. А. Белан, Е. Н. Федоренко, Л. П. Россеева, М. Е. Мухордова, Е. Ю. Игнатьева*
Перспективный сорт пшеницы мягкой яровой Семеновна – результат международного сотрудничества..... 46
- Т. А. Барковская, О. В. Гладышева, В. Г. Кокорева*
Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области..... 58
- Е. М. Лисицын, С. А. Чуракова*
Работа фотосистемы II листьев ярового ячменя под воздействием ионов марганца..... 66
- О. В. Левакова*
Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль..... 77
- Е. М. Чеботок*
Сорта смородины красной челябинской селекции в условиях Среднего Урала и их антиоксидантные показатели..... 86

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

- А. В. Леднев, А. В. Ложкин, Г. А. Поздеев*
Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под действием хромового загрязнения и рекультивационных мероприятий..... 95
- Е. В. Товстик, А. В. Захаров*
Влияние хелатной формы железа на его подвижность и фитодоступность при внесении в почву..... 107

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

- К. О. Малышева, Т. А. Кашина, А. А. Шутова, С. Ю. Солодников, В. В. Литвинов, О. О. Мехоношина*
Изучение острой и хронической токсичности кормовой добавки на основе вермикулиты..... 114

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

- В. В. Мосягин, А. Г. Беляев*
Спектрометрический анализ совместимости янтарной кислоты с йодином и метронидазолом, входящих в состав ранозаживляющего липосомального геля для животных..... 125

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

- В. А. Шигимага, Р. А. Файзуллин, А. С. Осокина*
Обоснование параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга животных на пастбище..... 132
- А. С. Дорохов, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. В. Сибирёв, А. Г. Аксенов*
Эффективность использования субстратного технологического модуля в технологии выращивания мини-клубней картофеля..... 141

ЭКОНОМИКА

- С. К. Сеитов*
Распределение субсидий среди субъектов агропромышленного комплекса Казахстана..... 152

ХРОНИКА

- Юбилей ученого. К 75-летию Василия Алексеевича Сысуева..... 162
- Памяти ученого. Пятин Александр Михайлович..... 166

CONTENTS

REVIEWS

- Oksana B. Polivanova, Anna S. Egorova, Anastasia B. Sivolapova, Svetlana V. Goryunova*
Current state and prospects of protoplast technology and potato somatic hybridization (review)..... 7
- Olga I. Zakharova, Olga A. Burova, Ivan V. Iashin, Andrey A. Blokhin*
Epizootic situation for brucellosis in the Russian Federation (review)..... 20
- Sergey V. Braginets, Oleg N. Bakhchevnikov, Konstantin A. Deev*
Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality (review)..... 30

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Igor A. Belan, Elena N. Fedorenko, Ludmila P. Rosseeva, Maria E. Muhordova, Elena Yu. Ignatieva*
The perspective soft spring wheat variety Semenovna is the result of international cooperation..... 46
- Tatyana A. Barkovskaya, Olga V. Gladysheva, Valeria G. Kokoreva*
Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions.....
of the Ryazan region..... 58
- Eugeny M. Lisitsyn, Svetlana A. Churakova*
Activity of photosystem II in spring barley leaves under the action of manganese ions..... 66
- Olga V. Levakova*
The effect of increasing doses of mineral fertilizers on productivity and structural indicators
of Raphael spring barley new variety..... 77
- Elena M. Chebotok*
Varieties and antioxidant indices of red currant of Chelyabinsk breeding in the conditions
of the Middle Urals..... 86

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Andrey V. Lednev, Andrey V. Lozhkin, Gennadiy A. Pozdeev*
Changes in the agrochemical parameters of sod-podzolic soils under the influence of chromium
pollution and recultivation measures..... 95
- Evgeniya V. Tovstik, Andrey V. Zakharov*
The effect of the chelated form of iron on its mobility and phytoavailability when applied to the soil..... 107

FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

- Ksenia O. Malysheva, Tatyana A. Kashina, Anastasia A. Shutova, Sergey Yu. Solodnikov, Valery V. Litvinov, Olga O. Mekhonoshina*
Study of acute and chronic toxicity of feed additive based on vermiculture..... 114

VETERINARY MEDICINE

- Vladimir V. Mosyagin, Alexey G. Belyaev*
Spectrometric analysis of the compatibility of succinic acid with iodinol and metronidazole in the animal
wound-healing liposomal gel..... 125

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Viktor A. Shigimaga, Rafail A. Fayzullin, Anastsiya S. Osokina*
The substantiation of the parameters of an unmanned system for automated monitoring of animals
on pasture..... 132
- Aleksey S. Dorokhov, Andrey G. Ponomarev, Vitaliy N. Zernov, Sergey N. Petukhov, Aleksey V. Sibirev, Alexander G. Aksenov*
The efficiency of using the substrate technological module in the technology of growing potato mini-tubers..... 141

ECONOMY

- Sanat K. Seitov*
Subsidy distribution among the subjects of agro-industrial complex in Kazakhstan..... 152

CHRONCLE.....

- Jubilee of a scientist. To the 75th anniversary of Vasily A. Sysuev 162
- In memory of the scientist. Alexander M. Pyatin..... 166

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.7-19>

УДК 633.491:631.524:58.085

Технология протопластов и соматическая гибридизация картофеля – современное состояние и перспективы (обзор)

© 2023. О. Б. Поливанова✉, А. С. Егорова, А. Б. Сиволапова, С. В. Горюнова
ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха»,
Московская область, г. Люберцы, д. п. Красково, Российская Федерация

Дикие виды растений рода Solanum часто использовались в качестве источников важных сельскохозяйственных признаков, включая устойчивость к разнообразным болезням, вредителям и воздействию абиотических факторов. Однако их широкое применение в селекции картофеля ограничено сложными барьерами половой несовместимости с Solanum tuberosum L. Слияние ферментативно изолированных протопластов соматических клеток является одним из подходов к преодолению половой несовместимости. Многообразные ядерные и цитоплазматические признаки, проявляемые соматическими гибридами картофеля, обеспечивают новый генетический материал для селекционных программ, о чем свидетельствует создание большого количества соматических гибридов культурного картофеля с дикими видами Solanum. Исследования в области получения соматических гибридов картофеля с помощью слияния протопластов продолжаются уже более 40 лет. В рамках данного обзора рассматриваются перспективы применения данной технологии в современной селекции картофеля. Геномные, транскриптомные и протеомные исследования позволяют лучше понять фундаментальные процессы, лежащие в основе образования соматических гибридов, такие как формирование клеточной стенки, хромосомные перестройки в продуктах слияния, регенерация, а также вносят существенный вклад в понимание процессов стабилизации генома. Усовершенствование методов молекулярного скрининга как генома, так и цитоплазмы также способствует расширению области применения соматических гибридов в селекции. Наконец показано, что соматическая гибридизация способствует интрогрессии важных сельскохозяйственных признаков, прежде всего устойчивости к патогенам.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., соматические гибриды, протопласты

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (тема № FGGM-2022-0002).

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Поливанова О. Б., Егорова А. С., Сиволапова А. Б., Горюнова С. В. Технология протопластов и соматическая гибридизация картофеля – современное состояние и перспективы (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):7-19. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.7-19>

Поступила: 07.10.2022

Принята к публикации: 28.12.2022

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Current state and prospects of protoplast technology and potato somatic hybridization (review)

© 2023 Oksana B. Polivanova✉, Anna S. Egorova, Anastasia B. Sivolapova, Svetlana V. Goryunova

Russian Potato Research Centre, Moscow region, Lyubertsy, Kraskovo, Russian Federation

Wild Solanum species have often been used as sources of important agricultural traits, including resistance to various diseases, pests, and abiotic factors. However, their large-scale use in potato breeding is limited by complex barriers of sexual incompatibility with Solanum tuberosum. Fusion of protoplasts enzymatically isolated from somatic cells is one of the approaches to overcoming sexual incompatibility. The diverse nuclear and cytoplasmic traits exhibited by potato somatic hybrids provide new genetic material for breeding programs, which is confirmed by the creation of a large number of somatic hybrids of cultivated potatoes with wild Solanum species. The research in development of somatic potato hybrids by means of protoplast fusion has been carried out for more than 40 years already. In this review, the prospects for the use of this technology in modern potato breeding are considered. Genomic, transcriptomic, and proteomic studies provide further insight into the fundamental processes underlying the somatic hybrids formation, such as cell wall formation, chromosomal rearrangements in fusion products, regeneration, and also make a significant contribution to understanding the processes of genome stabilization. Improvement in the methods of molecular screening of both genome and cytoplasm also contributes to the expansion of the field of application of somatic hybrids in breeding. Finally, it has been shown that somatic hybridization promotes the introgression of important agricultural traits, primarily resistance to pathogens.

Keywords: *Solanum tuberosum* L, somatic hybrids, protoplasts

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 Russian Potato Research Centre (theme No. FGGM -2022-0002).

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

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

For citation: Polivanova O. B., Egorova A. S., Sivolapova A. B., Goryunova S. V. Current state and prospects of protoplast technology and potato somatic hybridization (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):7-19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.7-19>

Received: 07.10.2022

Accepted for publication: 28.12.2022

Published online: 27.02.2023

Протопласты – это растительные клетки, у которых удалена клеточная стенка обработкой ферментами, расщепляющими целлюлозу [1]. Системы изолированных протопластов растений используются в генетической трансформации, функциональном исследовании генов, реконструкции сигнальных и метаболических путей, при определении субклеточной локализации белков, изучении межбелковых взаимодействий *in vivo*, при анализе транзиторной экспрессии и для получения соматических гибридов путем слияния протопластов [2]. Протопласты растений были впервые выделены Е. С. Цоцкинг (E. S. Cocking) в 1960 году из клеток корня томата [3]. Впоследствии были разработаны другие методики и протоколы для эффективного получения жизнеспособных протопластов из множества видов растений, клеток, тканей и типов органов, а также регенерации растений из протопластов. С момента открытия соматической гибридизации, эксперименты с регенерацией растений из протопластов проводились более чем на 320 видах высших растений, входящих в 146 родов и 49 семейств [4].

Соматическая гибридизация – это метод культуры клеток и тканей, который позволяет изменять клеточные геномы путем слияния протопластов и комбинировать не только ядерные гены, но и гены органелл, создавая новые формы растений. Основной вклад этого метода в селекцию растений – преодоление барьеров полового скрещивания и возможность переноса чужеродных генов между различными видами, родами и семействами растений. Процесс создания соматического гибрида включает несколько этапов: поиск подходящего экспланта, выделение протопластов, их слияние, регенерация растений, последующий отбор и идентификация соматических гибридных растений.

В настоящее время изолированные протопласты играют ключевую роль в разьяснении нашего понимания клеточной биологии, структуры, функции растительных клеток и тканей, а также в исследованиях переноса генов и манипуляций с ними, потому что для

соматической гибридизации, в отличие от трансформации, не нужно идентифицировать и изолировать интересующие исследователей гены, чтобы перенести их в геном другого растения. По той же причине соматическая гибридизация является отличным инструментом для модификации сложных полигенных признаков. И, самое главное, соматическая гибридизация позволяет осуществлять перенос не только ядерных генов, но и генетического материала митохондрий и пластид от обеих родительских форм.

Дикие виды рода *Solanum* хорошо адаптируются к широкому спектру климатических и почвенных условий, устойчивы ко многим патогенам и вредителям. Все это делает их крайне привлекательными для селекционеров, однако такие факторы, как автотетраплоидность, высокий уровень гетерозиготности, тетрасомное наследование, сложности в преодолении барьеров скрещивания и стерильность многих форм – сильно осложняют селекционную работу. Одним из методов, способных решить эти проблемы, является соматическая гибридизация. Именно поэтому культивируемый картофель (*Solanum tuberosum* L.) стал одной из первых сельскохозяйственных культур, использованных для получения соматических гибридов. В настоящее время с использованием технологии слияния протопластов были получены сотни внутри- и межвидовых соматических гибридов *Solanum tuberosum* L. Они были охарактеризованы по множеству признаков и широко используются в селекции картофеля, в генетических и геномных исследованиях.

Цель обзора – обобщить доступную информацию об исследованиях в области соматической гибридизации картофеля и оценить перспективы развития данной технологии для селекции. В рамках обзора также описаны технические и экспериментальные подходы к получению протопластов картофеля и методы их слияния.

Материал и методы. Поиск литературы по соответствующей теме осуществлялся в

базах данных PubMed, Scopus, Web of Science, Google Scholar, на сайтах издательств периодической научной литературы Springer, Elsevier, Taylor & Francis и другие. Поиск в базах данных осуществляли по ключевым словам: *Breeding, Genetics, Genomics, Potato, Solanum species, Somatic hybrid, Protoplasts, Somatic hybridization, Protoplast fusion and culture*. Поиск литературы на русском языке проводили в базе данных РИНЦ. В качестве ключевых слов использовались: *соматическая гибридизация, картофель, Solanum tuberosum, соматические гибриды, протопласты*. Ограничения по дате публикаций во время поиска не вводились. Это связано с тем, что опыт получения и применения протопластов на культуре картофеля насчитывает более чем 40-летнюю историю. Некоторые подходы к получению протопластов, их слиянию с последующей регенерацией являются хорошо запротоколированными, и эти протоколы остаются актуальными в настоящее время. Первичный отбор публикаций осуществляли по заголовкам и аннотациям. В дальнейшем рассматривали соответствующие разделы полного текста отобранных статей – материалы и методы, результаты и обсуждения. В общей сложности при работе над обзором литературы было проанализировано более 150 источников, из которых для вторичного анализа и работы над обзором было отобрано 75 статей.

Основная часть. Перспективы соматической гибридизации картофеля. Проанализировав обзорные и оригинальные статьи, посвященные соматической гибридизации картофеля, были даны следующие обоснования преимуществ этой технологии по сравнению с традиционными методами селекции:

- 1) возможность получения фертильных соматических гибридов с целевыми признаками диких видов;
- 2) возможность переноса моногенных и полигенных признаков за один этап;
- 3) возможность рекомбинации ядерных и цитоплазматических геномов;
- 4) отсутствие угрозы биобезопасности, в отличие от использования трансгенных технологий.

Кроме уже упомянутых барьеров половой несовместимости при скрещивании с дикими родственными видами, еще одной особенностью генетики картофеля является то, что большинство культивируемых форм *S. tuberosum* являются тетраплоидами. Как следствие, некоторые селекционные программы предпо-

лагают применение дигаплоидов ($2n = 24$), которые используются для воссоздания тетраплоидов ($2n = 48$). Поэтому на сегодняшний день используются два основных подхода к гибридизации видов рода *Solanum* – получение межвидовых асимметричных гибридов *S. tuberosum* с дикими видами или создание симметричных гибридов от двух диплоидных линий одного вида.

Первый подход дает возможность интрогрессии ценных хозяйственных признаков от дикого картофеля к культурному. Например, таким образом были получены гибриды – потенциальные источники ценных признаков картофеля, таких как сниженное содержание гликоалкалоидов и устойчивость к засолению [5, 6, 7]. Кроме того, соматическая гибридизация является альтернативным способом переноса R-генов картофеля [8].

Второй подход приводит к образованию тетраплоидов, которые сочетают в себе ценные черты используемых диплоидных составляющих и, в то же время, сохраняют высокий уровень гетерозиготности [6].

Получение аллоплазматических форм картофеля методом соматической гибридизации также является перспективным. Это позволяет получить новые формы с различными комбинациями ядерных, митохондриальных и пластидных геномов, например формы с рекомбинантными органеллами или цитоплазматические гетерозиготы [9]. Практическое значение имеют работы по созданию форм с цитоплазматической мужской стерильностью. В работе А. Перл с соавт. (A. Perl et al.) [10] была показана возможность переноса данного признака от дикого вида *S. stoloniferum*.

Помимо существенных преимуществ метода соматической гибридизации, у него есть и ряд недостатков, ограничивающих его широкое применение в селекции. Во-первых, это большая длительность эксперимента по сравнению с генетической трансформацией, обусловленная необходимостью устранения нежелательных признаков от соматических гибридов посредством серии обратных скрещиваний. Во-вторых, это генетическая нестабильность, отсутствие или плохая урожайность, невысокая жизнеспособность или летальность, очень низкая скрещиваемость полученных асимметричных соматических гибридов с культивируемым генофондом и потеря гибридами целевых признаков, что связано с негативными эффектами генетических факторов, вовлеченных в контроль пре- и постзиготической несовместимо-

сти, которые могут оказывать эффект в последующих поколениях [9, 11]. Несмотря на это, есть много примеров успешной интрогрессии некоторых агрономически важных признаков соматических гибридов.

Первые протоколы по соматической гибридизации *S. tuberosum* с дикими видами были разработаны в 1990-х годах [12, 13, 14] и используются до сих пор. К настоящему времени путем слияния протопластов были получены сотни меж- и внутривидовых соматических гибридов с использованием 23 видов *Solanum* [15]. Например, известны соматические гибриды, устойчивые к *Phytophthora*

infestans, *Erwinia carotovora*, *Ralstonia solanaceae*, PLRV, PVX, PVY и нематоды, а также соматические гибриды с морозостойкостью и более высокой способностью адаптации к холоду (табл.). Помимо этого, получены гибриды с более высоким содержанием крахмала и пониженной или повышенной концентрацией гликоалкалоидов [6]. Также соматические внутривидовые и межвидовые гибриды *Solanum* получают с целью создания новой ядерно-цитоплазматической зародышевой плазмы и индукции изменчивости пластидной и митохондриальной ДНК [16, 17, 18, 19].

Таблица – Соматические гибриды *S. tuberosum* с дикими видами *Solanum* /
Table – *S. tuberosum* somatic hybrids with wild *Solanum* species

Вид / Species	Целевой признак / Target trait	Способ слияния / Method of fusion	Подтверждение гибридности / Characterization	Ссылка / References
1	2	3	4	5
<i>S. acaule</i>	Устойчивость к <i>Clavibacter michiganensis</i> ssp., гликоалкалоиды / Resistance to <i>Clavibacter michiganensis</i> ssp., glycolkaloids content	Нет информации / No data	Проточная цитометрия, содержание гликоалкалоидов / Flow cytometry, glycoalkaloid content	[20]
<i>S. berthaultii</i>	Устойчивость к засолению, к <i>Fusarium solani</i> , <i>Pythium aphanidermatum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> и PVY / Salt-stress resistance, to <i>Fusarium solani</i> , <i>Pythium aphanidermatum</i> , <i>Rhizoctonia solani</i> and PVY	Электрослияние / Electrofusion	I-SSR-PCR, проточная цитометрия / I-SSR-PCR, flow cytometry	[21, 22]
<i>S. berthaultii</i>	Устойчивость к <i>Streptomyces</i> spp. / Resistance to <i>Streptomyces</i> spp.	Нет информации / No data	Подсчет хромосом, фенотипический анализ / Chromosome counting, phenotype analysis	[23]
<i>S. brevidens</i>	Содержание гликоалкалоидов / Glycolkaloids content	Нет информации / No data	Анализ гликоалкалоидов, геномная гибридизация <i>in situ</i> / Glycoalkaloid analysis, GISH	[24]
<i>S. bulbocastanum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>	ПЭГ-индуцированное слияние / PEG induced fusion	RAPD, RFLP	[25]
	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>	Электрослияние / Electrofusion	Проточная цитометрия, SSR, AFLP, окрашивание DAPI / Flow cytometry, SSR, AFLP, DAPI staining	[26]
	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>		RAPD	[27, 28]
	Устойчивость к <i>P. infestans</i> и <i>Meloidogyne chitwoodi</i> / Resistance to <i>P. infestans</i> and <i>Meloidogyne chitwoodi</i>		RAPD, проточная цитометрия / RAPD, flow cytometry	[17]
	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>		Геномная гибридизация <i>in situ</i> , ISSR / GISH, ISSR	[16, 29]
	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>		Ядерные и цитоплазматические SSR-маркеры / Nuclear and cytoplasmic SSR-markers	[30]
<i>S. cardiophyllum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>		RAPD, морфологическая оценка, подсчет хромосом / RAPD, morphological estimation, chromosome counting	[31]
	Устойчивость к колорадскому жуку и PVY / Resistance to colorado potato beetle and PVY	SSR, AFLP, MFLP, морфологический анализ / SSR, AFLP, MFLP, morphological estimation	[32]	

1	2	3	4	5
<i>S. cardio-phyllum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>	Электрослияние / Electrofusion	RAPD, ISSR, SSR, AFLP, тип цитоплазмы, проточная цитометрия, морфологическая оценка / RAPD, ISSR, SSR, AFLP, type of cytoplasm, flow cytometry, morphological estimation	[33]
<i>S. chcoense</i>	Устойчивость к <i>R. solanacearum</i> / Resistance to <i>R. solanacearum</i>	Нет информации / No data	SSR, проточная цитометрия / SSR, flow cytometry	[34, 35]
<i>S. circaefolium</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>	Электрослияние / Electrofusion	Проточная цитометрия, RFLP / Flow cytometry, RFLP	[36]
<i>S. commer-sonii</i>	Устойчивость к бактериальному увяданию / Bacterial wilt resistance	Нет информации / No data	Подсчёт числа хромосом / Chromosome counting	[37]
<i>S. etuberosum</i>	Устойчивость к PVY / Resistance to к PVY	Электрослияние / Electrofusion	Проточная цитометрия, SSR, тип цитоплазмы, оценка фенотипа / Flow cytometry, SSR, type of cytoplasm, phenotypes estimation	[18, 38]
		Нет информации / No data	Геномная гибридизация <i>in situ</i> , ISSR, проточная цитометрия / GISH, ISSR, flow cytometry	[39]
<i>S. melongena</i>	Устойчивость к бактериальному увяданию / Bacterial wilt resistance	Электрослияние / Electrofusion	Геномная гибридизация <i>in situ</i> , проточная цитометрия, SSR / GISH, flow cytometry, SSR	[40]
<i>S. × micho-acanum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>		CAPS, RAPD, морфологическая, цитологическая и физиологическая характеристика / CAPS, RAPD, morphological estimation, cytological and physiological characteristics	[41]
<i>S. nigrum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>	ПЭГ-индуцированное слияние / PEG induced fusion	RAPD, проточная цитометрия / RAPD, flow cytometry	[28]
<i>S. phureja</i>	Устойчивость к бактериальному увяданию / Bacterial wilt resistance	Электрослияние / Electrofusion	Изоферментный анализ, RAPD, SSR, анализ хлоропластного генома / Isoenzyme analysis, RAPD, SSR, chloroplast genome analysis	[42]
<i>S. pinna-tisectum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> и <i>Erwinia carotovora</i> / Resistance to <i>P. infestans</i> and <i>Erwinia carotovora</i>		RAPD, проточная цитометрия / RAPD, flow cytometry	[17]
<i>S. sanctae-rosae</i>	Устойчивость к цистообразующей нематоды / Nematode (Meloidogyne spp.) resistance	Нет информации / No data	RFLP, SSR, анализ генома митохондрий и хлоропластов / RFLP, SSR, analysis of mitochondria and chloroplasts genome	[43]
<i>S. stenotomum</i>	Устойчивость к бактериальному увяданию / Bacterial wilt resistance	Электрослияние / Electrofusion	SSR, биохимический анализ, оценка плоидности / SSR, biochemical analysis, ploidy estimation	[44]
<i>S. tarnii</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> , колорадскому жуку и PVY / Resistance to <i>P. infestans</i> , colorado potato beetle and PVY		Проточная цитометрия, SSR, AFLP / Flow cytometry, SSR, AFLP	[8]
<i>S. vernei</i>	Устойчивость к засолению / Salt-stress resistance	ПЭГ-индуцированное слияние / PEG induced fusion	Проточная цитометрия, ISSR, RAPD, изоферментный анализ / Flow cytometry, ISSR, RAPD, isoenzyme analysis	[45]
<i>S. verrucosum</i>	Устойчивость к вирусу скручивания листьев (PLRV) / Resistance to PLRV	Электрослияние / Electrofusion	Оценка фенотипа, RFLP / Phenotypes estimation, RFLP	[46]
<i>S. villosum</i>	Устойчивость к <i>P. infestans</i> / Resistance to <i>P. infestans</i>	ПЭГ-индуцированное слияние / PEG induced fusion	Геномная гибридизация <i>in situ</i> , RAPD / GISH, RAPD	[47]

В последние 20 лет количество исследований с использованием метода соматической межвидовой гибридизации неуклонно растет. Активно изучаются генетические основы интрогрессированных от диких видов признаков, ядерный и цитоплазматический геном и другие характеристики полученных ранее соматических гибридов. Кроме того, постоянно расширяется количество методов, применяемых для подтверждения гибридности: от цитологических до биохимических и молекулярно-генетических. Сводные данные об основных работах в этом направлении представлены в таблице.

Данные исследования направлены на устранения препятствий в применении соматических гибридов в селекции. Важной задачей является установление моделей наследования соматических гибридов с большой генетической сложностью, так как в ходе соматической гибридизации картофеля образуются продукты с различной плоидностью.

В ходе работ по межвидовой соматической гибридизации картофеля изначально

получают гибриды с участием диких видов и первые поколения от скрещивания соматических гибридов. Затем осуществляется отбор гибридных форм с целевыми признаками. Пути интрогрессии генетического материала диких видов в виде единичных чужеродных хромосом или их сегментов в геном *S. tuberosum* выявляются с помощью цитогенетических методов и хромосом-специфичных ДНК-маркеров. На следующем этапе осуществляется картирование генов и локусов количественных признаков, определяющих целевой признак и разработка сцепленных с ними молекулярных маркеров. На последнем этапе происходит вовлечение в селекционный процесс генов и локусов количественных признаков диких видов, осуществляются работы по созданию пребридингового материала и получению новых сортов [9].

Технические и экспериментальные подходы к получению соматических гибридов *S. tuberosum*. Этапы эксперимента по получению соматических гибридов картофеля отображены на рисунке 1.

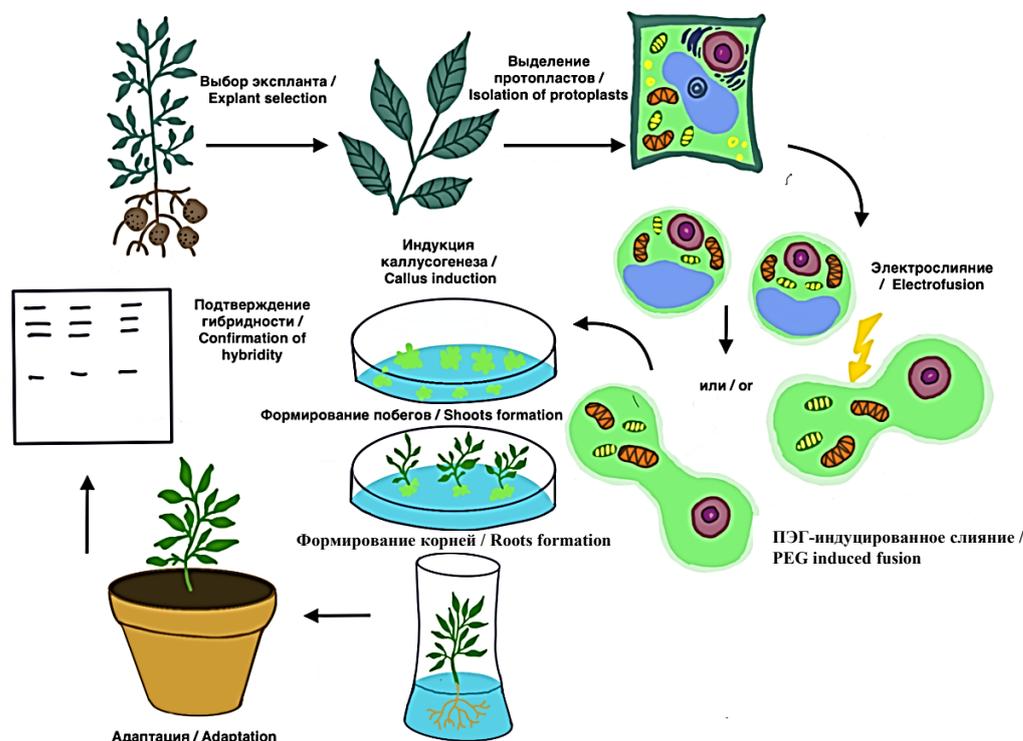


Рис. Этапы соматической гибридизации *S. tuberosum* /
 Fig. Stages of somatic hybridization experiment of *S. tuberosum*

Первый этап: поиск экспланта, выделение протопластов, регенерация тканей. На первом этапе необходимы предварительные исследования культуры клеток и тканей, прежде всего,

для определения условий регенерации побегов. В качестве источника клеток, как правило, используют ткани листа. Это объясняется тем, что листья растений доступны в большом

количестве и легко разрушаются при обработке ферментами, что ведет к высвобождению большого количества протопластов. Одним из основных факторов роста и выживаемости культуры протопластов являются условия окружающей среды, в которых выращиваются растения-доноры. Температура воздуха, параметры света и фотопериод, относительная влажность в значительной степени влияют на физиологию клеток эксплантов, на простоту ферментативного выделения протопластов, их последующую жизнеспособность, а также рост клеток в культуре. Изначально исследователи использовали в качестве исходного материала только молодые растения, выращенные в естественных условиях. Однако, со временем, в качестве доноров все чаще стали выбирать побеги, культивируемые *in vitro*, которые обладают рядом преимуществ перед целыми растениями. Во-первых, физиологическое состояние культур побегов легче контролировать, поскольку точно определены и физические условия культивирования, и состав питательной среды, в том числе точно известно содержание регуляторов роста. Во-вторых, исключается время, затрачиваемое на поверхностную стерилизацию эксплантов.

В качестве основы для разработки сред для инициирования культуры протопластов, поддержания делений клеток (образования каллуса) и индукции органогенеза используются следующие стандартизированные среды с различными модификациями: MS [48], B5 ([49], KM [50], VKM [51], V-47 [52], K4 [53], SKM [54].

Частота регенерации для картофеля рассчитывается как отношение числа регенерантов к общему количеству эксплантов и варьируется от 4-10 до 30-60 % в зависимости от используемого протокола регенерации [6]. Для выделения протопластов картофеля используют следующие ферменты: целлюлаза (0,5-1,0 %), пектиназа, мацерозим (0,2 %), неорганические солевые растворы, содержащие маннит, сорбит или другие углеродные соединения для создания необходимых осмотических условий.

Второй этап: слияние протопластов. Слияние протопластов растений может осуществляться двумя основными способами. Первый – основан на применении химических фузогенов – нитрата натрия, ионов кальция при высоком рН, сульфата декстрана, моноолеата глицерина, водорастворимых полимеров (полиэтиленгликоль или поливини-

ловый спирт); второй – на использовании электрического тока.

Индукционное полиэтиленигликолем (ПЭГ) слияние неспецифично и эффективно для протопластов, принадлежащих к разным видам, родам или даже семействам. В рамках этого метода к смеси протопластов добавляют 22-30 % ПЭГ в соотношении 1:1. ПЭГ вызывает немедленную адгезию протопластов и образование кластеров клеток.

М. Сенда с соавторами (M. Senda et al.) [55] были первыми, кто продемонстрировал, что короткий электрический импульс может быть применен для индукции слияния протопластов. Они установили, что электрослияние протопластов протекает при комнатной температуре и в условиях физиологического рН без использования химических фузогенов. Сегодня именно этот метод чаще применяют для слияния протопластов картофеля (табл.).

Многочисленные работы показали, что нет никаких данных, указывающих на то, что сам метод слияния протопластов влияет на качество полученных гибридов (табл.). Слияние протопластов относительно неэффективно и неспецифично, поэтому индуцированная для слияния смесь содержит как исходные компоненты слияния и гетерокарионы, так и продукты гомофузии, то есть гомокариотические продукты слияния, и неспецифичные гетерокарионы. Поэтому крайне важным этапом в процессе получения соматических гибридов является отбор гетерокарионов [56].

Третий этап: отбор гибридов. Желательные гибридные клетки обычно составляют менее 10 % от всего количества клеток, участвующих в слиянии. Именно поэтому разработка и оптимизация методов отбора гибридных клеток была одним из ключевых вопросов, которые необходимо было решить.

Один из методов отбора – выделение устойчивых к антибиотикам и гербицидам клеток [57]. Так, для селекции гетерокарионов картофеля применяют устойчивость к антибиотикам канамицину [58] и стрептомицину [59], а также к аналогу метаболита 6-азаурацилу [60]. Другой метод отбора – использование при гибридизации трансгенных линий, несущих ген зелёного флуоресцентного белка в качестве репортерного [61].

Четвертый этап: проверка гибридности и гибридный анализ. Для оценки гибридности используются разнообразные методы и подходы: цитологические (проточная цитометрия, подсчет хромосом, подсчет

замыкающих клеток, FISH-флуоресцентная гибридизация *in situ* и GISH-геномная гибридизация *in situ*); молекулярное маркирование (RAPD, RFLP, SSR, IISR, CAPS); биохимические методы, такие как изоферментный анализ; оценка фенотипа (морфология стеблей, листьев, клубней, соцветий, фертильность пыльцы) (табл.). В последнее время для получения более точной информации о структуре геномов соматических гибридов используется diversity array technology (DArT). Процесс разработки маркера DArT состоит из нескольких этапов: создание геномного представления; создание библиотеки; микрочипирование фрагментов ДНК на предметных стеклах; гибридизация меченых зондов; сканирование и анализ данных. Важным этапом технологии DArT является снижение сложности генома. Редуцированную фракцию генома получают путем расщепления геномной ДНК рестрикционными ферментами с последующим лигированием рестрикционных фрагментов с адаптерами. Карты DArT были получены для *Solanum × michoacanum* (mch) [62], *Solanum ruizceballosii* [63].

Соматические гибриды отличают по типам цитоплазмы (W/α, T/β, W/γ, W/δ и S/ε), определяемым с помощью молекулярных маркеров, специфичных для геномов хлоропластов и митохондрий [64]. К. Хосака и Р. Санетомо (К. Hosaka и R. Sanetomo) [65] разработали комбинацию из 5 маркеров и сгруппировали цитоплазму картофеля по шести типам: T (*S. tuberosum* ssp. *tuberosum*); D (*Solanum demissum*); P (*S. phureja*); A (*S. tuberosum* ssp. *andigena*); M (Mother type); W (Wild species).

Оценка наличия целевых признаков у соматических гибридов осуществляется в контролируемых условиях в лабораториях или полевых исследованиях.

Проверка гибридности также может исследоваться наряду с изучением генетической основы признаков, передаваемых в ходе соматической гибридизации.

Проблемы и перспективы соматической гибридизации S. tuberosum. В настоящее время в научных публикациях удалось обнаружить лишь одно упоминание сорта картофеля (Jeseo), полученного на основе соматических гибридов *S. tuberosum* и *S. brevidens* [66]. Работы по генетической и фенотипической оценках соматических гибридов картофеля и получение перспективного потомства F₂, BC₁, BC₂ и

BC₃ связаны с расширением использования соматических гибридов в селекционных программах. Например, многолетние полевые исследования соматических гибридов *S. tuberosum* и их потомков показали стабильную передачу и экспрессию устойчивости к PLRV и PVY в трех (BC₁, BC₂ и BC₃) и двух (BC₁ и BC₂) поколениях соответственно [67]. Полевые испытания потомства BC₁, полученного от соматических гибридов *S. tarnii*, также показали высокую урожайность, хорошее качество клубней и устойчивость к PVY [8].

Геномные исследования соматических гибридов и их родителей не проводились в широких масштабах. С развитием технологий секвенирования следующего поколения открываются возможности для применения этих инструментов на соматических гибридах для изучения биологии и усовершенствования картофеля.

Полные геномные последовательности хлоропластов *S. commersonii* – дикого вида и донора протопластов для интрогрессии устойчивости к бактериальному увяданию – позволили идентифицировать 2 Indel-маркера, которые могут быть использованы в генотипировании хлоропластов. Также результаты, полученные в этом исследовании, подтвердили случайное распределение генома хлоропластов при слиянии протопластов и его наследование по материнской линии, что может быть использовано для выбора подходящих пластидных генотипов в программах селекции картофеля [68]. Высокопроизводительное генотипирование соматических гибридов *S. × michoacanum* + *S. tuberosum* с использованием 5358 маркеров DArT показало наличие обеих родительских хромосом и потерю некоторых маркеров у гибридов [69]. А с помощью анализа микрочипов были идентифицированы гены устойчивости к фитофторозу у соматического гибрида *S. tuberosum* + *S. pinnatisectum* [70]. В другом исследовании с использованием микрочипов были идентифицированы гены, контролирующие процесс клубнеобразования у соматических гибридов *S. tuberosum* + *S. etuberosum*. Экспрессируемые в листьях гены были вовлечены в такие функции, как транспорт, метаболизм углеводов, фитогормонов, транскрипция, трансляция и связаны с клубнеобразованием [38].

Также был произведен анализ последовательностей митохондриального и пластидного генома соматических гибридов *S. com-*

mersonii и *S. tuberosum*, в ходе которого были идентифицированы сложные компоненты и структура генома, такие как гибридная форма 45S рДНК в соматическом гибриде, уникальный пластом в *S. commersonii* и рекомбинантный митогеном. Структура митогенома демонстрирует динамическую рекомбинацию, опосредованную тандемными повторами. Предполагается, что рекомбинантный митогеном может быть получен в результате гомологичной рекомбинации между обоими видами во время развития соматического гибрида [71].

Одной из проблем технологии соматической гибридизации и культуры клеток и тканей в целом является геномная нестабильность вследствие соматической вариабельности. Соматическая вариабельность может выражаться в проявлении различных морфологических признаков растений, времени появления всходов, количестве собранных клубней, содержании гликоалколоидов. Различия также идентифицируются на уровне ядерных микросателлитных маркеров (ncSSR) и связаны с вариациями фенотипа [72]. В 2019 году исследователи из США провели оценку нестабильности генома *S. tuberosum*, регенерированного из протопластов. Все регенеранты были затронуты анеуплоидией или структурными хромосомными изменениями. Некоторые хромосомы демонстрировали сегментарные делеции и дубликации. При повторной выборке разных листьев одного и того же растения обнаружены различия у трех регенерантов, что указывает на частое сохранение нестабильности. Эти результаты показали, что культивирование растений *in vitro*, в зависимости от используемого протокола, может вызывать нестабильность генома, приводя к крупномасштабным изменениям и поставить под угрозу конечный фенотип растения [73]. Геномная нестабильность также связана со сложными взаимодействиями генетических компонентов сливаемых клеток. Обнаружение этих генетических изменений требует привлечения молекулярно-генетических методов. В изучении генетической нестабильности растений, в частности картофеля, широко используются SSR-маркеры, выявляющие многочисленные полиморфизмы микросателлитов. Их использование в

изучении нестабильности генома основывается на том, что их перестройки связаны с нарушениями в системах исправления ошибок спаривания ДНК [74]. Соматические вариации могут быть объяснены не только структурными изменениями в ДНК – следует также принимать во внимание влияние эпигенетического фона. Так, длительно культивируемые регенеранты картофеля демонстрировали не только генетический, но и эпигенетический (метилирование) полиморфизм [75]. Не исключено, что подобного рода изменения могут возникать и при регенерации протопластов в ходе культивирования *in vitro*.

Быстрое развитие молекулярно-генетических методов в сочетании с другими методами позволяет проводить более глубокие исследования стабильности генома и улучшить качество исследований соматической гибридизации.

Заключение. Создание соматических гибридов с использованием диких видов *Solanum* с желаемыми признаками способно расширить узкую генетическую базу культурного картофеля. Для успешного применения в селекции картофеля необходим анализ селекционного потенциала соматических гибридов, получение потомства путем гибридизации с обычными сортами и идентификация молекулярных маркеров, сцепленных с целевыми признаками. Новые инструменты геномики способствуют значительному прогрессу в исследованиях соматической гибридизации картофеля. Они позволяют эффективно осуществлять геномную селекцию и исследовать сложные биологические процессы, лежащие в основе целевых признаков, а также стабильность генома и взаимодействия ядерного и цитоплазматического генома. В совокупности данные исследования будут способствовать развитию технологии соматической гибридизации и расширению области ее применения. Наиболее важными признаками, обосновывающими применение соматической гибридизации в селекции картофеля, является устойчивость к PLRV, PVY и *P. infestans*. Необходимо дальнейшее проведение полевых испытаний перспективного потомства с целью расширения селекционных программ с использованием соматических гибридов.

References

1. Nagata T., Takebe I. Cell wall regeneration and cell division in isolated tobacco mesophyll protoplasts. *Planta*. 1970;92:301-308. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00385097>
2. Jia N., Zhu Y., Xie F. An efficient protocol for model legume root protoplast isolation and transformation. *Frontiers in Plant Science*. 2018;9:670. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.00670>

3. Cocking E. C. A method for the isolation of plant protoplasts and vacuoles. *Nature*. 1960;187:962-963.
DOI: <https://doi.org/10.1038/187962a0>
4. Roest S., Gilissen L. J. W. Regeneration from protoplast a supplementary literature review. *Acta Botanica Neerlandica*. 1993;42(1):1-23. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.1993.tb00674.x>
5. Laurila J., Laakso I., Larkka J., Gavrilenko T., Rokka V.-M., Pehu E. The proportions of glycoalkaloid aglycones are dependent on the genome constitutions of interspecific hybrids between two *Solanum* species (*S. brevidens* and *S. tuberosum*). *Plant Science*. 2001;161(4):677-683. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-9452\(01\)00453-8](https://doi.org/10.1016/s0168-9452(01)00453-8)
6. Orczyk W., Przetakiewicz J., Nadolska-Orczyk A. Somatic hybrids of *Solanum tuberosum* – application to genetics and breeding. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2003;74:1-13. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1023396405655>
7. Trabelsi S., Gargouri-Bouزيد R., Vedel F., Nato A., Lakhoua L., Drira N. Somatic hybrids between potato *Solanum tuberosum* and wild species *Solanum vernei* exhibit a recombination in the plastome. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2005;83:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-005-3667-3>
8. Thieme R., Rakosy-Tican E., Gavrilenko T., Antonova O., Schubert J., Nachtigall M., Heimbach U., Thieme T. Novel somatic hybrids (*Solanum tuberosum* L. + *Solanum tarnii*) and their fertile BC1 progenies express extreme resistance to potato virus Y and late blight. *Theoretical and Applied Genetics*. 2008;116:691-700.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0702-2>
9. Гавриленко Т. А., Ермишин А. П. Межвидовая гибридизация картофеля: теоретические и прикладные аспекты. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2017;21(1):16-29. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.220>
EDN: XYEBBV
Gavrilenko T. A., Yermishin A. P. Interspecific hybridization of potato: theoretical and applied aspects. Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2017;21(1):16-29. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.220>
10. Perl A., Aviv D., Galun E. Protoplast-fusion-derived *Solanum* hybrids: application and phylogenetic limitations. *Theoretical and Applied Genetics*. 1990;79(5):632-640. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00226876>
11. Laferrriere L., Helgeson J., Allen C. Fertile *Solanum tuberosum*+*S. commersonii* somatic hybrids as sources of resistance to bacterial wilt caused by *Ralstonia solanacearum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1999;98:1272-1278. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220051193>
12. Rokka V.-M., Xu Y.-S., Kankila J., Kuusela A., Pulli S., Pehu E. Identification of somatic hybrids of dihaploid *Solanum tuberosum* lines and *S. brevidens* by species specific RAPD patterns and assessment of disease resistance of the hybrids. *Euphytica*. 1994;80:207-217. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00039652>
13. Waara S., Glimelius K. The potential of somatic hybridization in crop breeding. *Euphytica*. 1995;85:217-233. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00023951>
14. Rokka V.-M., Tauriainen A., Pietilä L., Pehu E. Interspecific somatic hybrids between wild potato *Solanum acaule* Bitt. and anther-derived dihaploid potato (*Solanum tuberosum* L.). *Plant Cell Reports*. 1998;18:82-88.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s002990050536>
15. Tiwari J. K., Devi S., Ali N., Luthra S. K., Kumar V., Bhardwaj V., Singh R. K., Rawat S., Chakrabarti S. K. Progress in somatic hybridization research in potato during the past 40 years. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2018;132:225-238. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-017-1327-z>
16. Iovene M., Savarese M., Cardi T., Frusciantè L., Scott N., Simon P. W., Carputo D. Nuclear and cytoplasmic genome composition of *Solanum bulbocastanum* (+) *S. tuberosum* somatic hybrids. *Genome*. 2007;50(5):443-450. DOI: <https://doi.org/10.1139/g07-024>
17. Greplová M., Polzerová H., Vlastníková H. Electrofusion of pro- toplasts from *Solanum tuberosum*, *S. bulbocastanum* and *S. pin- natisectum*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2008;30:787. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-008-0183-1>
18. Tiwari J. K., Poonam, Sarkar D., Pandey S. K., Gopal J., Kumar S. R. Molecular and morphological characterization of somatic hybrids between *Solanum tuberosum* L. and *S. etuberosum* Lindl. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2010;103:175-187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-010-9765-x>
19. Sarkar D., Tiwari J. K., Sharma S. H., Poonam., Sharma S. A., Gopal J., Singh B. P., Luthra S. K., Pandey S. K., Pattanayak D. Production and characterization of somatic hybrids between *Solanum tuberosum* L. and *S. pinnatisectum* Dun. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2011;107:427-440. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-011-9993-8>
20. Rokka V.-M., Laurila J., Tauriainen A., Laakso I., Larkka J., Metzler M., Pietiä L. Glycoalkaloid aglycone accumulations associated with infection by *Clavibacter michiganensis* ssp. *sepedonicus* in potato species *Solanum acaule* and *Solanum tuberosum* and their interspecific somatic hybrids. *Plant Cell Reports*. 2005;23:683-691.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-004-0868-x>
21. Bidani A., Nouri-Ellouz O., Lakhoua L., Sihachakr D., Cheniclet C., Mahjoub A., Drira N., Gargouri-Bouزيد R. Interspecific potato somatic hybrids between *Solanum berthaultii* and *Solanum tuberosum* L. showed recombinant plastome and improved tolerance to salinity. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2007;91:179-189.
DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-007-9284-6>
22. Nouri-Ellouz O., Triki M. A., Jbir-Koubaa R., Louhichi A., Charfeddine S., Drira N., Gargouri-Bouزيد R. Somatic hybrids between potato and *S. berthaultii* show partial resistance to soil-borne fungi and potato virus Y. *Journal of Phytopathology*. 2016;164(7-8):485-496. DOI: <https://doi.org/10.1111/JPH.12474>
23. Ahn Y. K., Park T.-H. Resistance to common scab developed by somatic hybrids between *Solanum brevidens* and *Solanum tuberosum*. *Acta Agriculturae Scandinavica*. 2013;63(7):595-603.
DOI: <https://doi.org/10.1080/09064710.2013.829867>

24. Laurila J., Laasko I., Larkka J., Gavrilenko T., Rokka V-M., Pehu E. The proportions of glycoalkaloid aglycones are dependent on the genome constitutions of interspecific hybrids between two *Solanum species* (*S. brevidens* and *S. tuberosum*). *Plant Science*. 2001;161(4):677-683. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00453-8](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00453-8)
25. Naess S. K., Bradeen J. M., Wielgus S. M., Haberlach G. T., McGrath J. M., Helgeson J. P. Resistance to late blight in *Solanum bulbocastanum* is mapped to chromosome 8. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000;101:697-704. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220051533>
26. Rakosy-Tican E., Thieme R., Nachtigall M., Molnar I., Denes T-E. The recipient potato cultivar influences the genetic makeup of the somatic hybrids between five potato cultivars and one cloned accession of sexually incompatible species *Solanum bulbocastanum* Dun. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2015;122:395-407. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0777-4>
27. Bołtowicz B., Szczerbakowa A., Wielgat B. RAPD analysis of the interspecific somatic hybrids *Solanum bulbocastanum* (+) *S. tuberosum*. *Cellular & Molecular Biology Letters*. 2005;10:51-162.
28. Szczerbakowa A., Tarwacka J., Oskiera M., Jakuczun H., Wielgat B. Somatic hybridization between the diploids of *S. × michoacanum* and *S. tuberosum*. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2010;32:867-873. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-010-0472-3>
29. Iovene M., Aversano R., Savarese S., Caruso I., Dimatteo A., Cardì T., Frusciante L., Carputo D. Interspecific somatic hybrids between *Solanum bulbocastanum* and *S. tuberosum* and their haploidization for potato breeding. *Biologia Plantarum*. 2012;56:1-8. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10535-012-0008-3>
30. Sedlák P., Sedláková V., Vašek J., Zeka D., Čilová D., Melounová M., Orsák M., Domkářová J., Doležal P., Vejřál P. Phenotypic, molecular and biochemical evaluation of somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *S. bulbocastanum*. *Scientific Reports*. 2022;12(1):4484. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08424-5>
31. Shi Y. Z., Chen Q., Li H. Y., Beasley D., Lynch D. R. Somatic hybridization between *Solanum tuberosum* and *S. cardiophyllum*. *Canadian Journal of Plant Science*. 2006;86:539-545. DOI: <https://doi.org/10.4141/P05-076>
32. Thieme R., Rakosy-Tican E., Nachtigall M., Schubert J., Hammann T., Antonova O., Gavrilenko T., Heimbach U., Thieme T. Characterization of the multiple resistance traits of somatic hybrids between *Solanum cardiophyllum* Lindl. and two commercial potato cultivars. *Plant Cell Reports*. 2010;29:1187-1201. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0905-x>
33. Chandel P., Tiwari J. K., Ali N., Devi S., Sharma S. H., Sharma S. A., Luthra S. K., Singh B. P. Interspecific potato somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *S. cardiophyllum*, potential sources of late blight resistance breeding. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2015;123:579-589. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-015-0862-8>
34. Guo X., Xie C., Cai X., Song B., He L., Liu J. Meiotic behavior of pollen mother cells in relation to ploidy level of somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *S. chacoense*. *Plant Cell Reports*. 2010;29:1277-1285. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0914-9>
35. Chen L., Guo X., Xie C., He L., Cai X., Tian L., Song B., Liu J. Nuclear and cytoplasmic genome components of *Solanum tuberosum* + *S. chacoense* somatic hybrids and three SSR alleles related to bacterial wilt resistance. *Theoretical and Applied Genetics*. 2013;126:1861-1872. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-013-2098-5>
36. Oberwalder B., Schilde-Rentschler L., Löffelhardt-Ruob B., Ninnemann H. Differences between hybrids of *Solanum tuberosum* L. and *Solanum circaefolium* Bitt. obtained from symmetric and asymmetric fusion experiments. *Potato Research*. 2000;43:71-82. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02358515>
37. Kim-Lee H., Moon J. S., Hong Y. J., Kim M. S., Cho H. M. Bacterial wilt resistance in the progenies of the fusion hybrids between haploid of potato and *Solanum commersonii*. *American Journal of Potato Research*. 2005;82:129-137. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02853650>
38. Tiwari J. K., Devi S., Sundaresha S., Chandel P., Ali N., Singh B., Bhardwaj V., Singh B. P. Microarray analysis of gene expression patterns in the leaf during potato tuberization in the potato somatic hybrid *Solanum tuberosum* and *Solanum etuberosum*. *Genome*. 2015;58(6):305-313. DOI: <https://doi.org/10.1139/gen-2014-0191>
39. Gavrilenko T., Thieme R., Heimbach U., Thieme T. Fertile somatic hybrids of *Solanum etuberosum* + dihaploid *Solanum tuberosum* and their backcrossing progenies: relationships of genome dosage with tuber development and resistance to potato virus Y. *Euphytica*. 2003;131:323-332. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1024041104170>
40. Yu Y., Ye W., He L., Cai X., Liu T., Liu J. Introgression of bacterial wilt resistance from eggplant to potato via protoplast fusion and genome components of the hybrids. *Plant Cell Reports*. 2013;32:1687-1701. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1480-8>
41. Smyda P., Jakuczun H., Debski K., Śliwka J., Thieme R., Nachtigall M., Wasilewicz-Flis I., Zimnoch-Guzowska E. Development of somatic hybrids *Solanum × michoacanum* Bitter. (Rydb.) (+) *S. tuberosum* L. and autofused 4x *S. × michoacanum* plants as potential sources of late blight resistance for potato breeding. *Plant Cell Reports*. 2013;32:1231-1241. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-013-1422-5>
42. Fock I., Collonier C., Purwito A., Luisetti J., Sonvannavong V., Vedel F., Servaes A., Ambroise A., Kodja H., Ducreux G., Sihachakr D. Resistance to bacterial wilt in somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *S. phureja*. *Plant Science*. 2000;160(1):165-176. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0168-9452\(00\)00375-7](https://doi.org/10.1016/s0168-9452(00)00375-7)
43. Harding K., Millam S. Analysis of chromatin, nuclear DNA and organelle composition in somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *Solanum sanctaerosae*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2000;101:939-947. DOI: <https://doi.org/10.1007/s001220051565>
44. Fock I., Collonier C., Purwito A., Luisetti J., Sonvannavong V., Vedel F., Servaes A., Ambroise A., Kodja H., Ducreux G., Sihachakr D. Use of *S. stenotomum* for introduction of resistance to bacterial wilt in somatic hybrids of potato. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2001;39(10):899-908. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0981-9428\(01\)01307-9](https://doi.org/10.1016/S0981-9428(01)01307-9)

45. Trabelsi S., Gargouri-Bouزيد R., Vedel F., Nato A., Lakhoua L., Drira N. Somatic hybrids between potato *Solanum tuberosum* and wild species *Solanum vernei* exhibit a recombination in the plastome. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture*. 2005;83:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11240-005-3667-3>
46. Carrasco A., De Galarreta J. I. R., Rico A., Ritter E. Transfer of PLRV resistance from *Solanum verrucosum* Schlecht to potato (*S. tuberosum* L.) by protoplast electrofusion. *Potato Research*. 2000;43:31-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02358511>
47. Tarwacka J., Polkowska-Kowalczyk L., Kolano B., Śliwka J., Wielgat B. Interspecific somatic hybrids *Solanum villosum* (+) *S. tuberosum*, resistant to *Phytophthora infestans*. *Journal of Plant Physiology*. 2013;170(17):1541-1548. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2013.06.013>
48. Murashige T., Skoog F. A Revised medium for rapid growth and bio assays with tobacco tissue cultures. *Physiologia Plantarum*. 1962;15(3):473-497. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1962.tb08052.x>
49. Gamborg O. L., Miller R. A., Ojima K. Nutrient requirements of suspension cultures of soybean root cells. *Experimental Cell Research*. 1962;50(1):151-158. DOI: [https://doi.org/10.1016/0014-4827\(68\)90403-5](https://doi.org/10.1016/0014-4827(68)90403-5)
50. Kao K. N., Michayluk M. R. Nutritional requirements for growth of *Vicia hajastana* cells and protoplasts at a very low population density in liquid media. *Planta*. 1975;126:105-110. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00380613>
51. Binding H., Nehls R. Regeneration of isolated protoplasts to plants in *Solanum dulcamara* L. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 1977;85(3):279-280. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0044-328X\(77\)80255-9](https://doi.org/10.1016/S0044-328X(77)80255-9)
52. Binding H. Cell cluster formation by leaf protoplasts from axenic cultures of haploid *Petunia hybrida* L. *Plant Science Letters*. 1974;2(3):185-187. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4211\(74\)90018-2](https://doi.org/10.1016/0304-4211(74)90018-2)
53. Nagy J. I., Maliga P. Callus induction and plant regeneration from mesophyll protoplasts of *Nicotiana glauca*. *Zeitschrift für Pflanzenphysiologie*. 1976;78(5):453-455. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0044-328x\(76\)80093-1](https://doi.org/10.1016/s0044-328x(76)80093-1)
54. Hunt G. J., Helgeson J. P. A medium and simplified procedure for growing single cells from *Solanum* species. *Plant Science*. 1989;60(2):251-257. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-9452\(89\)90174-x](https://doi.org/10.1016/0168-9452(89)90174-x)
55. Senda M., Takeda J., Abe S., Nakamura T. Induction of cell fusion of plant protoplasts by electrical stimulation. *Plant and Cell Physiology*. 1979;20(7):1441-1443. DOI: <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.pcp.a075944>
56. Hammatt N., Lister A., Blackhall N. W., Gartland J., Ghose T. K., Gilmour D. M., Power J. B., Davey M. R., Cocking E. C. Selection of plant heterokaryons from diverse origins by flow cytometry. *Protoplasma*. 1990;154:34-44. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF01349533>
57. Kulawiec M., Tagashira N., Plader W., Bartoszewski G., Kuć D., Sniezko R., Malepszy S. Chromosome number variation in somatic hybrids between transgenic tomato (*Lycopersicon esculentum*) and *Solanum lycopersicoides*. *Journal of Applied Genetics*. 2003;44(4):431-437.
58. Guri A., Sink K. C. Interspecific somatic hybrid plants between eggplant (*Solanum melongena*) and *Solanum torvum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 1988;76:490-496. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00260897>
59. Sidorov V. A., Zubko M. K., Kuchko A. A., Komarnitsky I. K., Gleba Y. Y. Somatic hybridization in potato: use of gamma-irradiated protoplasts of *Solanum pinnatisectum* struction. *Theoretical and Applied Genetics*. 1987;74:364-368. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00274719>
60. Gleddie S., Keller W. A., Setterfield G. Production and characterization of somatic hybrids between *Solanum melongena* L. and *Solanum sisymbriifolium* Lam. *Theoretical and Applied Genetics*. 1986;71:613-621. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00264265>
61. Rakosy-Tican E., Aurori A. Green fluorescent protein (GFP) supports the selection based on callus vigorous growth in the somatic hybrids *Solanum tuberosum* L. + *S. chacoense* Bitt. *Acta Physiologiae Plantarum*. 2015;37:201. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11738-015-1946-0>
62. Śliwka J., Jakuczun H., Chmielarz M., Hara-Skrzypiec A., Tomczyńska I., Kilian A., Zimnoch-Guzowska E. A resistance gene against potato late blight originating from *Solanum × michoacanum* maps to potato chromosome VII. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;124:397-406. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-011-1715-4>
63. Śliwka J., Jakuczun H., Chmielarz M., Hara-Skrzypiec A., Tomczyńska I., Kilian A., Zimnoch-Guzowska E. Late blight resistance gene from *Solanum ruiz-ceballosii* is located on potato chromosome X and linked to violet flower colour. *BMC Genetics*. 2012;13:11. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2156-13-11>
64. Lössl A., Götz M., Braun A., Wenzel G. Molecular markers for cytoplasm in potato: male sterility and contribution of different plastid-mitochondrial configurations to starch production. *Euphytica*. 2000;116:221-230. DOI: <https://doi.org/10.1023/A:1004039320227>
65. Hosaka K., Sanetomo R. Development of rapid identification method for potato cytoplasm and its use for evaluating Japanese collections. *Theoretical and Applied Genetics*. 2012;125:1237-1251. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-012-1909-4>
66. Kim S. R., Ahn Y. K., Kim T. G., Kang H. S., Song S. W., Kim B. C., Kang S. G. Breeding of a new cultivar 'Jeseo' with resistance to common scab. *Korean Journal of Breeding Science*. 2013;45(4):468-473. DOI: <https://doi.org/10.9787/KJBS.2013.45.4.468>
67. Novy R. G., Gillen A. M., Whitworth J. L. Characterization of the expression and inheritance of potato leafroll virus (PLRV) and potato virus Y (PVY) resistance in three generations of germplasm derived from *Solanum etuberosum*. *Theoretical and Applied Genetics*. 2007;114:1161-1172. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-007-0508-2>
68. Cho K. S., Cheon K. S., Hong S. Y., Cho J. H., Im J. S., Mekapogu M., Yu Y. S., Park T. H. Complete chloroplast genome sequences of *Solanum commersonii* and its application to chloroplast genotype in somatic hybrids with *Solanum tuberosum*. *Plant Cell Reports*. 2016;35(10):2113-2123. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-016-2022-y>

69. Smyda-Dajmund P., Sliwka J., Wasilewicz-Flis I., Jakuczun H., Zimnoch-Guzowska E. Genetic composition of interspecific potato somatic hybrids and autofused 4x plants evaluated by DArT and cytoplasmic DNA markers. *Plant Cell Reports*. 2016;35:1345-1358. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-016-1966-2>
70. Singh R., Tiwari J. K., Rawat S., Sharma V., Singh B. P. Monitoring gene expression pattern in somatic hybrid of *Solanum tuberosum* and *S. pinnatisectum* for late blight resistance using microarray analysis. *Plant Omics Journal*. 2016;9(1):99-105. URL: https://www.pomics.com/tiwari_9_1_2016_99_105.pdf
71. Cho K.-S., Lee H.-O., Lee S.-C., Park H.-J., Cho J.-H., Park Y.-E., Choi J.-G., Yang T.-J. Mitochondrial genome recombination in somatic hybrids of *Solanum commersonii* and *S. tuberosum*. *Scientific Reports*. 2022;12:8659. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-12661-z>
72. Sedlák P., Sedláková V., Vašek J., Zeka D., Čílová D., Melounová M., Orsák M., Domkářová J., Doležal P., Vejřl P. Phenotypic, molecular and biochemical evaluation of somatic hybrids between *Solanum tuberosum* and *S. bulbocastanum*. *Scientific Reports*. 2022;12(1):4484. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08424-5>
73. Fossi M., Amundson K. R., Kuppu S., Britt A. B., Comai L. Regeneration of *Solanum tuberosum* plants from protoplasts induces widespread genome instability. *Plant Physiology*. 2019;180(1):78-86. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.18.00906>
74. Jiang M., Wu X., Song Y., Shen H., Cui H. Effects of OsMSH6 mutations on microsatellite stability and homologous recombination in rice. *Frontiers in Plant Science*. 2020;11:220. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00220>
75. Dann A. L., Wilson C. R. Comparative assessment of genetic and epigenetic variation among regenerants of potato (*Solanum tuberosum*) derived from long-term nodal tissue-culture and cell selection. *Plant Cell Reports*. 2011;30(4):631-639. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00299-010-0983-9>

Сведения об авторах

✉ **Поливанова Оксана Борисовна**, научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д.п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3992-5452>, e-mail: polivanovaoks@gmail.com

Егорова Анна Сергеевна, младший научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д.п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8850-5481>

Сиволапова Анастасия Борисовна, младший научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2058-5344>

Горюнова Светлана Валерьевна, ведущий научный сотрудник лаборатории клеточных и геномных технологий, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1078-7348>

Information about the authors

✉ **Oksana B. Polivanova**, researcher, the Laboratory of Cell and Genomic Technologies, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3992-5452>, e-mail: polivanovaoks@gmail.com

Anna S. Egorova, junior researcher, the Laboratory of Cell and Genomic Technologies, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8850-5481>

Anastasia B. Sivolapova, junior researcher, the Laboratory of Cell and Genomic Technologies, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2058-5344>

Svetlana V. Goryunova, leading researcher, the Laboratory of Cell and Genomic Technologies, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1078-7348>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу животных в Российской Федерации (обзор)

© 2023. О. И. Захарова , О. А. Бурова, 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

*Бруцеллез рассматривается Всемирной организацией здравоохранения (ВОЗ) как один из наиболее опасных и распространенных зоонозов в мире. Цель обзора – обобщить актуальные научные данные по бруцеллезу животных, проанализировать эпизоотическую ситуацию в Российской Федерации, в том числе Арктической зоне, и определить ключевые факторы стратегии защиты животных от инфекции. Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу сельскохозяйственных животных, которые являются переносчиками трех основных его возбудителей, имеет выраженную эпидемиологическую значимость. Их широкое распространение является фактором, определяющим глобальное распространение патогенов в большинстве стран мира, что свидетельствует о необходимости борьбы с бруцеллезом в международном масштабе. В России высокий эпизоотический риск распространения заболевания сохраняется в регионах Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, на юге Сибири и Дальнего Востока, а также в Арктике. Не меньшую эпизоотическую и эпидемиологическую значимость бруцеллез, ввиду национальных пищевых особенностей народов Крайнего Севера, имеет в арктических регионах. В российской Арктике установлены эпизоотические очаги бруцеллеза крупного рогатого скота и северного оленя, представлены доказательства эпидемиологического значения и экологической приуроченности возбудителя *B. suis* к популяции северного оленя. Специфическая профилактика бруцеллеза животных базируется на применении вакцин. Однако проблема вакцинации северных оленей окончательно не решена.*

Ключевые слова: *Brucella* spp., крупный рогатый скот, северные олени, Арктика, стратегия ликвидации.

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., Яшин И. В., Блохин А. А. Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу животных в Российской Федерации (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):20-29.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.20-29>

Поступила: 01.07.2022

Принята к публикации: 27.12.2022

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Epizootic situation for brucellosis in the Russian Federation (review)

© 2023. Olga I. Zakharova , Olga A. Burova, Ivan V. Iashin, Andrey A. Blokhin

Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod, Russian Federation

*The World Health Organization (WHO) considers brucellosis to be one of the most dangerous and spread zoonosis in the world. The aim of the review is to summarize the current scientific data on the brucellosis in animals, to analyze the epizootic situation in the Russian Federation, Arctic Zone included, and to define the key factors of animal protection against the infection. The epizootic situation for brucellosis in farm animals, which are carriers of the three main pathogens of brucellosis, is an urgent epidemiological problem. Their widespread occurrence is the factor determining the world-wide distribution of pathogens in most countries that indicates for the importance of control the brucellosis on an international scale. In Russia, a high epizootic risk of the spread of the disease is observed in the regions of the Volga, Southern and North Caucasian Federal Districts, in southern Siberia and Far East as well as in the Arctic. Brucellosis has the same epizootic and epidemiological significance in the Arctic regions considering the national food preferences of the peoples of the Far North. In the Russian Arctic, epizootic foci of brucellosis in cattle and reindeer have been identified and evidence of the epidemiological significance and ecological association of *B. suis* with the reindeer population has been presented. Specific prophylaxis of brucellosis is based on the use of vaccines. However, the problem of reindeer vaccination has not been finally resolved.*

Keywords: *Brucella* spp., cattle, reindeer, Arctic, elimination strategy

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., Iashin I. V., Blokhin A. A. Epizootic situation for brucellosis in the Russian Federation (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):20-29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.20-29>

Received: 01.07.2022

Accepted for publication: 27.12.2022

Published online: 27.02.2023

Бруцеллез – это типичное зоонозное инфекционное заболевание мирового значения, вызываемое бактериями рода *Brucella* и характеризующееся поражением опорно-двигательной и нервной систем, а также соединительной ткани органов [1, 2, 3]. Бруцеллез занимает ведущее место в нозологическом профиле инфекционной патологии животных [4, 5]. Эпидемическая и эпизоотическая обстановка по бруцеллезу связана с сельскохозяйственными животными, которые являются переносчиками трех основных возбудителей бруцеллезной инфекции (*B. melitensis*, *B. abortus*, *B. suis*)¹. Их повсеместное распространение является фактором, определяющим глобальное распространение патогенов в подавляющем большинстве стран всех континентов, что свидетельствует о необходимости борьбы с бруцеллезом в международном масштабе [6]. Бруцеллез встречается во всем мире, особенно в развивающихся и тропических странах [7, 8, 9]. Болезнь поражает различные виды животных. При этом установлено, что *B. melitensis* может передаваться от зараженных овец и коз к крупному рогатому скоту [10, 11]. Совместное содержание разных видов сельскохозяйственных животных повышает риск межвидовой передачи бруцеллезной инфекции [9, 12, 13]. Актуальным является распространение бруцеллеза в России и, особенно, её Арктической зоне в популяции северных оленей [14].

Цель обзора – обобщить актуальные научные данные по бруцеллезу животных, проанализировать эпизоотическую ситуацию в Российской Федерации, в том числе в Арктической зоне, и определить ключевые факторы стратегии защиты животных от инфекции.

Материал и методы. Используя методологию для систематических обзоров и мета-анализов, был проведен поиск литературы в базах данных Web of Science, PubMed, Scopus и Google Scholar, чтобы найти соответствующую информацию по определению возможного алгоритма биоинформационного анализа, который будет использоваться для изучения эпизоотологических вспышек бруцеллеза,

динамики иммунологических факторов и напряженности иммунитета у сельскохозяйственных животных после иммунизации вакциной. Поисковый запрос включал ключевые слова: бруцеллез, КРС, северные олени, оленеводство, Арктика, стратегия ликвидации. Поиск не включал никаких ограничений по дате публикации. Также был осуществлен поиск литературы в базе Российского научного цитирования – РИНЦ с использованием Science Index, проведен первый просмотр заголовков и аннотаций, затем проанализированы полные тексты статей, которые были определены как релевантные. Изначально было выбрано 152 источника, с 2007 по 2021 год. Итоговый список релевантной по цели поиска литературы включает 45 источников, из которых 40 являются зарубежными.

Ретроспективный эпизоотический анализ эпизоотической ситуации по бруцеллезу животных проводили по данным муниципальных региональных ветеринарных служб субъектов Российской Федерации. Визуализация и картографирование осуществлено с использованием ГИС-программного обеспечения – ArcMap 10.8.1 (Redlands, CA, USA).

Основная часть. Этиология бруцеллеза.

Бруцеллез – это зоонозное инфекционное заболевание, вызываемое *Brucella spp.* Род *Brucella* входит в семейство *Brucellaceae* порядка *Rhizobiales* отдела *Gracilicutes*. В настоящее время были зарегистрированы новые виды бруцелл, и сейчас их количество достигло 12. Список бруцелл представлен следующими видами: *Brucella abortus*, *Brucella melitensis*, *Brucella suis*, *Brucella ovis*, *Brucella canis*, *Brucella neotomae*, *Brucella microti*, *Brucella ceti*, *Brucella penipedialis*, *Brucella inopinata*, *Brucella rapionis*, *Brucella vulpis* и NN, который выделен относительно недавно и не получил пока видового названия [15, 16]. *B. melitensis* – зоонозный возбудитель бруцеллеза мелкого рогатого скота, имеет 3 биовара (биотипа); *B. abortus* – зоонозный возбудитель бруцеллеза крупного рогатого скота, имеет 7 биоваров; *B. suis* – зоонозный возбудитель бруцеллеза

¹OIE. (World Organisation for Animal Health). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.woah.org/en/disease/brucellosis/> (дата обращения: 26.06.2022 г.).

свиней, имеет 5 биоваров. Носителями 2-го биовара *Br. suis* являются зайцы, 4-го биовара *Br. suis* – олени, 5-го *Br. suis* – мышевидные грызуны [17]. Возбудителем бруцеллеза северных оленей является 4 биовар бруцеллы вида *B. suis*, состоящий из 5 биотипов, который в основном является этиологическим агентом бруцеллеза у свиней. *B. ovis* – слабо-зоонозный возбудитель бруцеллеза овец [17, 18]. Бруцеллез собак – это инфекционное и зоонозное заболевание, вызываемое *Brucella canis*, о нем сообщалось во всем мире и которое является серьезной проблемой общественного здравоохранения из-за тесного контакта между собаками и людьми [19]. Возбудитель, ответственный за эпизоотические аборт у сук, выделен в 1966 году в США, предложен в 1968 г. в качестве нового вида *B. canis* и принят окончательно под таким названием в 1978 году. В Российской Федерации *B. canis* выделили у собак в 1995 г. [20, 21].

Основными источниками инфекции при бруцеллезе являются овцы, козы, крупный рогатый скот и свиньи. В условиях Арктики отмечаются случаи заражения бруцеллезом северных оленей, а также людей и пастушьих собак. В редких случаях источником заражения могут быть лошади, собаки, зайцы, лисицы, норки, песцы, лоси, сайгаки, косули, верблюды, мулы, бизоны, яки, морские млекопитающие, грызуны, домашние и дикие птицы. Здоровые животные заражаются при общем водопое, на пастбище, при половом контакте, а люди и собаки – при потреблении инфицированного мяса и крови. Бруцеллы проникают в организм животного через слизистые оболочки пищеварительного тракта, половые и дыхательные пути, конъюнктиву, а также через кожные покровы в случае нарушения их целостности [20, 22, 23].

Распространение. Бруцеллезные инфекции были зарегистрированы у многих наземных животных от субтропических и умеренных регионов до арктических.

Во многих регионах эпидемиология бруцеллеза среди диких животных связана с распространением болезни среди домашнего скота. Некоторые дикие виды могут способствовать повторному инфицированию домашнего скота, даже в регионах, свободных от бруцеллеза. Это дает представление о глобальной эпидемиологии и энзоотическом потенциале бруцеллеза среди диких животных во всем мире. В отношении бруцеллеза в

дикой природе очень важно учитывать различие между распространением инфекции у домашних животных и ее устойчивостью в популяциях различных видов диких животных [15]. Вероятность того, что бруцеллез будет долго циркулировать у диких животных зависит от комбинации факторов, включая восприимчивость хозяина, инфекционную дозу, контакт с инфицированными животными и условия окружающей среды. Бруцеллез в дикой природе вызывает беспокойство как у эпидемиологов, так и у эпизоотологов, поскольку это может привести к контаминации окружающей среды и заражению других видов животных и человека. В Арктике традиционные подходы к ведению оленеводства способствуют широкому распространению болезни, а потребление костного мозга, внутренних органов и крови северного оленя способствует вовлечению в эпизоотический процесс людей и собак [23].

Сезонность и климатические факторы. Для заболевания бруцеллезом характерна сезонность. Бруцеллез встречается в виде эпизоотических вспышек и sporadicических случаев. Наибольшее число инфекций регистрируется зимой и весной, что совпадает с периодом отела скота и усиленной лактацией животных. В арктической и субарктической зонах России показатели осадков, снежного покрова и температурного режима являются факторами, определяющими динамику эпизоотического процесса бруцеллеза. Наибольший рост риска возникновения вспышек бруцеллеза сельскохозяйственных животных, связанный с изменением климата, наблюдался в северной области европейской части России и Западной Сибири. Согласно прогнозам, в этих регионах вероятность возникновения вспышек бруцеллеза, зависящая от факторов риска, связанных с изменением климата, возрастет более чем в несколько раз [22, 23, 24].

Клинические признаки. Бруцеллез отличается от других инфекционных заболеваний выраженным полиморфизмом клинической симптоматики, который заключается в первую очередь в разнообразии ее проявления, выраженности и напряженности от начала до исхода болезни. Инкубационный период составляет 1-3 недели. Как правило, заболевание развивается постепенно и не имеет специфических признаков. Клинически характеризуется синдромом общей инфекционной интоксикации, длительной лихорадкой, увеличением печени, селезенки, лимфоузлов, артритом, маститом,

эндометритом, вагинитом, орхитом, эпидидимитом и синдромом поражения нервной системы [25, 26]. Важным клиническим признаком является аборт [26, 27]. При первично-латентной (скрытой) форме заболевания до появления симптомов могут пройти месяцы. При такой форме некоторые животные остаются носителями бруцелл и выделяют их в течение не менее 5 лет [28].

Диагностика. *Brucella spp.* являются одними из самых проблемных зоонозных агентов во всем мире, и их, как известно, сложно обнаружить и идентифицировать. Поэтому диагностика основана на совокупности клинико-эпизоотологических и лабораторных данных. Выделение возбудителя бруцеллеза от больного является абсолютным подтверждением диагноза. Для диагностики бруцеллеза применяют ПЦР, который обладает высокой специфичностью. Однако необходимо учитывать, что в большинстве наборов используются праймеры для идентификации возбудителей до родов. Это не позволяет идентифицировать животных, вакцинированных живыми вакцинами [29, 30].

До сих пор широко применяют серологические исследования: реакцию агглютинации Райта с убитой культурой бруцелл, реакцию Кумбса, реакцию связывания комплемента (РСК), реакцию преципитации (РП), реакцию прямой гемагглютинации (РПГА) и иммуноферментный анализ (ИФА), Роз-Бенгал пробу. На основе химерного белка A/G разработан метод ИФА для обнаружения антител у арктических животных [29, 31].

Для диагностики бруцеллеза у оленей используют метод LAMP (Loop-Mediated Isothermal Amplification), который может быть простым и быстрым инструментом для диагностики бруцеллеза, особенно в полевых условиях, где очень важно контролировать бруцеллез северных оленей с помощью быстрой и точной диагностики для выбраковки больных животных [32, 33].

Профилактика. Широкое и последовательное использование вакцинации скота будет способствовать снижению заболеваемости бруцеллезом. В Российской Федерации против бруцеллеза сельскохозяйственных животных применяют живую сухую вакцину, приготовленную из штамма вида *B. abortus* 19 (BRU-CELLAVAC-st.19), а также сухую живую вакцину против бруцеллеза овец и коз, и инфекционного эпидидимита баранов из штамма

B. melitensis (REV-1). В настоящее время наибольшую популярность в мире приобрели инактивированные вакцины из штаммов *B. abortus* 45/20 и *B. melitensis* 53H38, заключенные в водно-масляные адьюванты, которые обеспечивают безопасность и противоэпизоотическую эффективность. При этом наиболее изучены вакцины Дюфавак (Голландия), Abortane (Франция), Abortox (Франция), широко апробированные в России, а также ряд новых [34]. Вакцина из штамма *B. abortus* 82. имеет ряд нареканий в отношении эффективности и безвредности, тем не менее, в Российской Федерации более 90 % привитого против бруцеллеза крупного рогатого скота приходится именно на эту вакцину [35, 36]. Во всем мире широкое применение для профилактики бруцеллеза животных имеют живые вакцины из штаммов *B. abortus* 19, *B. melitensis* Rev-1, а в последнее время и вакцина из R-штамма RB-51, которая запатентована и производится американской компанией «Колорадо Серум» [37].

Таким образом, применение вакцин возможно с целью профилактической иммунизации животных в субъектах Российской Федерации, неблагополучных по бруцеллезу данного вида животных, в том числе с целью провокации латентных форм бруцеллеза на самых ранних этапах проведения оздоровительных мероприятий [29].

Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу в Российской Федерации. Основными движущими силами эпизоотического процесса при инфекционных болезнях животных являются глобальное изменение климата, популяционные процессы в стадах восприимчивых животных и деятельность человека. Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу в Российской Федерации в настоящее время продолжает оставаться напряженной. Это проявляется длительным эпизоотическим неблагополучием, регистрацией новых неблагополучных пунктов, широкой распространенностью заболеваемости и, как итог, возрастающим трендом неблагополучия [23]. За период с 2019 по 2021 год неблагополучие по бруцеллезу сельскохозяйственных животных регистрировали в 49 субъектах Российской Федерации. Всего за три года суммарно было зарегистрировано 1051 неблагополучный пункт (н. п.) по бруцеллезу крупного рогатого скота и 103 н. п. по бруцеллезу овец и коз. Прослеживая динамику неблагополучия по бруцеллезу животных, стоит отметить, что во многих субъектах Российской

Федерации наблюдается эндемическая эпизоотическая ситуация, многолетние тренды имеют нарастающий характер. Пики регистрации неблагополучия среди сельскохозяйственных животных приходятся на второй квартал, то есть в периоды выгона скота на пастбища и проведения массовых диагностических исследований на бруцеллез. Проведенный ретроспективный анализ эпизоотической ситуации в субъектах Российской Федерации позволяет выявить тенденцию сохранения устойчивого неблагополучия по бруцеллезу сельскохозяйственных животных. Наиболее сложная в эпизоотическом отношении ситуация по бруцеллезу животных сложилась в южных и пригра-

ничных регионах Российской Федерации, где отмечено высокое количество неблагополучных пунктов, представленных на рисунке ¹². Высокий риск распространения заболевания в популяциях крупного и мелкого рогатого скота сохраняется в регионах Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, а также в Южных регионах Сибири и Дальнего Востока. В остальных округах количество заболевшего крупного рогатого скота бруцеллезом незначительное. Учитывая спорадичность случаев бруцеллеза в других округах, можно прогнозировать стабильную обстановку по данному заболеванию, не превышающую единичных случаев.



Рис. 1. Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу сельскохозяйственных животных в Российской Федерации (2019-2021 гг.) /

Fig. 1. Epizootic situation for brucellosis of livestock animals in the Russian Federation (2019-2021)

Оздоровление хозяйств от бруцеллеза крупного рогатого скота проводится в комплексе оздоровительных мероприятий с выбраковкой реагирующих животных и одновременным созданием иммунной защиты с применением вакцин.

Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу в Российской Арктике. Первые сведения о бруцел-

лезе животных в Западной Сибири появились в 1924 году. По данным муниципальных ветеринарных служб регионов Арктики, в настоящее время эпидемиологическая и эпизоотическая обстановка по бруцеллезу характеризуется наличием эндемичных территорий. В период с 1955 по 2019 год на территории Арктических регионов был зарегистрирован 891 очаг бруцеллеза

²ФГБУ «Центр ветеринарии». Эпизоотическая обстановка. [Электронный ресурс].

URL: <https://центр-ветеринарии.рф/informatsiya/epizooticheskaya-obstanovka> (дата обращения: 25.06.2022).

животных. В основном были выявлены эпизоотические очаги бруцеллеза крупного рогатого скота и северного оленя. Северные олени крайне редко контактируют с другими видами животных. Циркулирующие в популяции северных оленей виды бруцелл относятся к 4 биовару *B. Suis*³ [38]. Так, наибольшее количество очагов бруцеллеза животных отмечено

в Республике Саха (Якутия) – в некоторых районах суммарный показатель достигает 176 очагов. В Красноярском крае очагов бруцеллеза у сельскохозяйственных животных в отдельных районах составляет 48. Вспышки также были зарегистрированы в Мурманской области и Чукотском автономном округе (рис. 2).



Рис. 2. Эпизоотическая ситуация по бруцеллезу крупного рогатого скота и оленей в Российской Арктике /

Fig. 2. Epizootic situation for brucellosis of cattle and reindeer in the Russian Arctic

В оленеводческих хозяйствах ущерб, причиняемый бруцеллезной инфекцией, складывается из убытков от аборт, рождения ослабленных и мертворожденных животных, снижения продуктивности и яловости. В результате удлиняются сроки воспроизводства поголовья, что приводит к потерям по производству продуктов оленеводства. Чтобы спланировать борьбу с бруцеллезом, необходимо учитывать частоту случаев заражения людей, а также распространение и циркуляцию патогенных бактерий в животноводческих хозяйствах [39]. В ряде случаев при недостаточной термической обработке, в связи с национальными особенностями приготовления пищи, мясные продукты могут являться причиной

инфицирования людей бруцеллезом. Из-за недостаточного лабораторного мониторинга и наличия скрытых или латентных форм инфекции специфическая профилактика бруцеллеза северных оленей окончательно не решена. Такой факт, как снижение поголовья домашних северных оленей, способствует сохранению бруцеллеза во многих регионах Арктики [39, 40].

В Республике Саха бруцеллез домашних северных оленей был зарегистрирован в 1955 г. в Оймяконском районе, в 1959 г. – в Томпонском, в 1961 г. в Аллаиховском районе. С тех пор болезнь приобрела широкое распространение, сделав её лидером по бруцеллезу среди арктических регионов⁴.

³Brucellosis: *Brucella suis*. CFSPH. 2018. pp. 1-11.

URL: http://www.cfsph.iastate.edu/Factsheets/pdfs/brucellosis_suis.pdf

⁴Эпизоотическая обстановка. URL: <https://центр-ветеринарии.рф/informatsiya/epizooticheskaya-obstanovka>

При этом специфическая профилактика бруцеллезной инфекции северных оленей окончательно не решена, что способствует снижению поголовья домашних северных оленей. Случаи бруцеллеза продолжают регистрироваться в популяциях северного оленя в Арктике, несмотря на отсутствие официальных данных [39, 40].

Стратегия ликвидации бруцеллеза. Возникновение и распространение бруцеллеза среди сельскохозяйственных животных происходит чаще всего при несанкционированном приобретении и ввозе инфицированных животных из других регионов, несвоевременной сдаче больных сельскохозяйственных животных на убой, совместном выпасе и использовании общих мест водопоя животными из неблагополучных хозяйств [41]. Несмотря на разнообразие механизмов распространения бруцеллеза, стратегия его профилактики и контроля в значительной степени основывается на вакцинации восприимчивых животных, ограничении на торговлю и перемещение животных [42, 43, 44].

Оценка потенциального риска заражения бруцеллезом базируется, в основном, на результатах эпизоотологического обследования сельскохозяйственных животных и людей. Случаи заболевания людей бруцеллезом являются маркером неблагополучия животных по данной болезни, так как нередко выявляются на территориях, считающихся благополучными по бруцеллезу сельскохозяйственных животных. Таким образом, стратегии борьбы с бруцеллезом всегда должны быть основаны на диагностическом мониторинге как среди животных, так и среди людей на неблагополучных, ранее неблагополучных и потенциально неблагополучных территориях [45].

Реализация и оценка эффективности профилактических и оздоровительных мероприятий при бруцеллезе сельскохозяйственных животных должна базироваться на данных эпизоотологического анализа.

Заключение. Эпидемиологическая и эпизоотическая ситуация по бруцеллезу в настоящее время остается весьма напряженной. Высокий риск возникновения вспышек заболевания сохраняется в регионах Приволжского, Южного и Северо-Кавказского федеральных округов, на юге Сибири и Дальнего Востока, а также в популяции северных оленей в Арктике. В последнем случае значимость бруцеллеза возрастает не только ввиду традиционных методов оленеводства, потребления свежих мяса и крови, но и по причине отсутствия объективной официальной информации об эпизоотической ситуации в настоящее время. В целях обеспечения эпизоотического благополучия по бруцеллезу сельскохозяйственных и диких животных на конкретной территории Российской Федерации необходимо обеспечить реализацию полноценной комплексной программы, включающей организационно-хозяйственные, зооигиенические и ветеринарно-санитарные профилактические мероприятия, отдавая немаловажную роль специфическим профилактическим средствам. Плановая вакцинация сельскохозяйственных животных является одним из ключевых факторов контроля заболеваемости и снижения эпидемиологических рисков. В условиях Арктики требуется проведение широких мониторинговых исследований распространения бруцеллеза в популяции северного оленя, а также оленегонных собак с целью выяснения объективной эпизоотической ситуации.

References

1. Negrón M. E., Tille R., Kharod G. Brucellosis. In: CDC Yellow Book. 2019. pp. 114-118.
2. Craighead L., Chengat Prakashbabu B., Musallam I., Ndour A. P., Ayih-Akakpo A. A. P. S., Fotsac Dzousse M., Crystella Ngong C. A., Kameni Feussom J. M., Yempabou D., Mouiche-Mouliom M. M., Doumbia A., Fane A., Dembele E., Germaine L. M., Tapsoba A. S. R., Moussa S., Pato P., Pali M., Ba E. H., Alambédji R. B., Ayih-Akakpo J., Guitian J., Häsler B. Brucellosis in dairy herds: Farm characteristics and practices in relation to likely adoption of three potential private – public partnership (PPP) vaccination control strategies in West and Central Africa. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022;69(3):1479-1505. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.14114>
3. Głowacka P., Żakowska D., Naylor K., Niemcewicz M., Bielawska-Drózd A. Brucella – Virulence Factors, Pathogenesis and Treatment. *Polish Journal Microbiology*. 2018;67(2):151-161. DOI: <https://doi.org/10.21307/pjm-2018-029>
4. Khurana S. K., Sehrawat A., Tiwari R., Prasad M., Gulati B., Shabbir M. Z., Chhabra R., Karthik K., Patel Sh. K., Pathak M., Yatoo M. I., Gupta V. K., Dhama K., Sah R., Chaicumpa W. Bovine brucellosis – a comprehensive review. *Veterinary Quarterly*. 2021;41(1):61-88. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1868616>
5. Ran X., Cheng J., Wang M., Chen X., Wang H., Ge Y., Ni H., Zhang X.-X., Wen X. Brucellosis seroprevalence in dairy cattle in China during 2008-2018: A systematic review and meta-analysis. *Acta Tropica*. 2019;189:117-123. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2018.10.002>

6. Libera K., Konieczny K., Grabska J., Szopka W., Augustyniak A., Pomorska-Mól M. Selected Livestock-Associated Zoonoses as a Growing Challenge for Public Health. *Infectious Disease Reports*. 2022;14(1):63-81. DOI: <https://doi.org/10.3390/idr14010008>
7. Darbandi A., Koupaei M., Navidifar T., Shahroodian S., Heidary M., Talebi M. Brucellosis control methods with an emphasis on vaccination: a systematic review. *Expert Review of Anti-infective Therapy*. 2022;20(7):1025-1035. DOI: <https://doi.org/10.1080/14787210.2022.2066521>
8. Tulu D. Bovine Brucellosis: Epidemiology, Public Health Implications, and Status of Brucellosis in Ethiopia. *Veterinary Medicine: Research and Reports*. 2022;7(13):21-30. DOI: <https://doi.org/10.2147/VMRR.S347337>
9. Makita K., Fèvre E. M., Waiswa C., Eisler M. C., Thrusfield M., Welburn S. C. Herd prevalence of bovine brucellosis and analysis of risk factors in cattle in urban and peri-urban areas of the Kampala economic zone, Uganda. *BMC Veterinary Research*. 2011;7:60. DOI: <https://doi.org/10.1186/1746-6148-7-60>
10. Moreno E. Genome evolution within the alpha *Proteobacteria*: why do some bacteria not possess plasmids and others exhibit more than one different chromosome? *Microbiol Reviews*. 1998;22(4):255-275. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1574-6976.1998.tb00370.x>
11. Moreno E. Retrospective and prospective perspectives on zoonotic brucellosis. *Frontiers in Microbiology*. 2014;5:213. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2014.00213>
12. El-wahab E. W. A., Hegazy Y., El-tras W. F., Mikeal A., Kapaby A. F., Abdelfatah M., Bruce M., Eltholth M. M. Knowledge, attitudes and practices (KAPs) and risk factors of brucellosis at the human-animal interface in the Nile Delta, Egypt. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2019;3:30. DOI: <https://doi.org/10.1101/607655>
13. Middlebrook E. A., Romero A. T., Bett B., Nthiwa D., Oyola S. O., Fair J. M., Bartlow A. W. Identification and distribution of pathogens coinfecting with *Brucella* spp., *Coxiella burnetii* and Rift Valley fever virus in humans, livestock and wildlife. *Zoonoses and Public Health*. 2022;69(3):175-194. DOI: <https://doi.org/10.1111/zph.12905>
14. González-espinoza G., Arce-gorvel V., Mémet S., Gorvel J. *Brucella*: Reservoirs and Niches in Animals and Humans. *Pathogens*. 2021;10(2):186. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens10020186>
15. Dadar M., Shahali Y., Fakhri Y., Godfroid J. The global epidemiology of Brucella infections in terrestrial wildlife: A meta-analysis. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021;68(2):715-729. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.13735>
16. Scholz H. C., Hubalek Z., Sedláček I., Vergnaud G., Tomaso H., Al Dahouk S., Melzer F., Kämpfer P., Neubauer H., Cloeckert A., Maguati M., Zygmunt M. S., Whatmore A. M., Falsen E., Bahn P., Göllner C., Pfeffer M., Huber B., Busse H.-J., Nöckler K. *Brucella microti* sp. nov., isolated from the common vole *Microtus arvalis*. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*. 2008;58(2):375-382. DOI: <https://doi.org/10.1099/ijs.0.65356-0>
17. Scholz H. C., Mühldorfer K., Shilton C., Benedict S., Whatmore A. M., Blom J., Eisenberg T. The change of a medically important genus: worldwide occurrence of genetically diverse novel *Brucella* species in exotic frogs. *PLoS One*. 2016;11(12):e0168872. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0168872>
18. Hegazy M. Y., Abdel-Hamid N. H., Eldehieh M., Oreiby A. F., Algabbary M. H., Hamdy M. E. R., Beleta E. I., Martinez I., Shaheir M. A., Garcia N., Eltholth M. Trans-species transmission of *Brucellae* among ruminants hampering brucellosis control efforts in Egypt. *Journal of Applied Microbiology*. 2022;132(1):90-100. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15173>
19. Moreno E., Moriyón I. The Genus *Brucella*. *The Prokaryotes*. 2006;5:315-456. DOI: https://doi.org/10.1007/0-387-30745-1_17
20. Aparicio E. D. Epidemiology of brucellosis in domestic animals caused by *Brucella melitensis*, *Brucella suis* and *Brucella abortus*. *Revue Scientifique et Technique-Office International des Epizooties*. 2013;32(1):53-60. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/23837364/>
21. Гордиенко Л. Н., Куликова Е. В., Гайдуцкая Г. М., Еланцева Н. Б. Фенотипические и биологические свойства бруцелл, изолированных из пантов северных оленей. *Достижения науки и техники АПК*. 2015;29(4):47-49. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374013> EDN: TRMVKZ
Gordienko L. N., Kulikova E. V., Gaydutskaya G. M., Elantseva N. B. Phenotypic and biological properties of brucella isolated from velvet antlers of reindeer. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(4):47-49. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374013>
22. De Figueiredo P., Ficht T. A., Rice-ficht A., Rossetti C. A., Adams L. G. Pathogenesis and Immunobiology of Brucellosis Review of *Brucella* e Host Interactions. *The American Journal of Pathology*. 2015;185(6):1505-1517. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2015.03.003>
23. Rayl N. D., Proffitt K. M., AlMBERG E. S., Jones J. D., Merkle J. A., Gude J. A., Cross P. C. Modeling elk to-livestock transmission risk to predict hotspots of brucellosis spillover. *Wildlife Management*. 2019;83(4):817-829. DOI: <https://doi.org/10.1002/jwmg.21645>
24. Yang J. Y., Xu R., Sun H. Q. Dynamics of a seasonal brucellosis disease model with nonlocal transmission and spatial diffusion. *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*. 2021;94:105551. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cnsns.2020.105551>

25. Abdisa T. Review on the Reproductive Health Problem of Dairy Cattle. *Journal of Dairy and Veterinary Sciences*. 2018;5(1):555655. DOI: <https://doi.org/10.19080/JDVS.2018.05.555655>
26. Kiros A., Asgedom H., Abdi R. D. A Review on Bovine Brucellosis: Epidemiology, Diagnosis and Control Options. *ARC Journal of Animal and Veterinary Sciences (AJAVS)*. 2016;2(3):8-21. DOI: <http://dx.doi.org/10.20431/2455-2518.0203002>
27. De Macedo A. A., Galvão N. R., Sá J. C., De Carvalho da Silva A. P., Pinto da Silva Mol J., Sarmento dos Santos L., Santos R. L., De Carvalho Neta A. V. Brucella-associated cervical bursitis in cattle. *Tropical Animal Health and Production*. 2019;51:697-702. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-018-1745-x>
28. Mazlan M., Khairani-Bejo S., Hamzah H., Nasruddin N. S., Salleh A., Zamri-Saad M. Pathological changes, distribution and detection of *Brucella melitensis* in foetuses of experimentally-infected does. *Veterinary Quarterly*. 2021;41(1):36-49. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.2020.1867328>
29. Maichak E. J., Scurlock B. M., Cross P. C., Rogerson J. D., Edwards W. H., Wise B., Smith S. G., Kreeger T. J. Assessment of a Strain 19 Brucellosis Vaccination Program in Elk. *Wildlife Society Bulletin*. 2017;41(1):70-79. DOI: <https://doi.org/10.1002/wsb.734>
30. Aliyev J., Alakbarova M., Garayusifova A., Omarov A., Aliyeva S., Fretin D., Godfroid J. Identification and molecular characterization of *Brucella abortus* and *Brucella melitensis* isolated from milk in cattle in Azerbaijan. *BMC Veterinary Research*. 2022;18:71. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-022-03155-1>
31. Alzuheir I., Al Zabadi H., Abu Helal M. Occupational Exposure Assessment and Seroprevalence of *Brucella* Specific Antibodies Among Veterinarians in the Northern Palestine. *Frontiers in Veterinary Science*. 2022;8:813900. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.813900>
32. Liu Q. H., Wei J., Sun Q. S., Wang B., Wang Y. T., Hu Y., Wu W. Detection of Brucellosis in Sika Deer (*Cervus nippon*) through Loop-mediated Isothermal Amplification (LAMP). *Journal of Wildlife Diseases*. 2017;53(3):612-615. DOI: <https://doi.org/10.7589/2016-05-105>
33. Patra S., Tellapragada C., Vandana K. E., Mukhopadhyay C. Diagnostic utility of in-house loop-mediated isothermal amplification and real-time PCR targeting *virB* gene for direct detection of *Brucella melitensis* from clinical specimens. *Journal of Applied Microbiology*. 2019;127(1):230-236. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.14260>
34. Аракелян П. К., Трегубов А. Н., Вергун А. А., Ильин Е. Н., Янченко Т. А., Димова А. С., Боровой В. Н., Скляр О. Д. Эффективность конъюнктивальной иммунизации крупного рогатого скота вакциной из штамма *B. abortus* 19 при бруцеллезе. *Ветеринария*. 2020;(10):9-12. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.10.09-12> EDN: SKLWUG
- Arakelyan P. K., Tregubov A. N., Vergun A. A., Ilin E. N., Yanchenko T. A., Dimova A. S., Borovoy V. N., Sklyarov O. D. Antiepidemiological effectiveness of conjunctival immunization of cattle with a vaccine from the *B. abortus* 19 strain in brucellosis. *Veterinariya = Veterinary*. 2020;(10):9-12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.10.09-12>
35. Ivanov A. V., Salmakov K. M., Olsen S. C., Plumb G. E. A live vaccine from *Brucella abortus* strain 82 for control of cattle brucellosis in the Russian Federation. *Animal Health Research Reviews*. 2011;12(1):113-121. DOI: <https://doi.org/10.1017/S1466252311000028>
36. Salmakov K. M., Fomin A. M., Plotnikova E. M., Safina G. M., Galimova G. M., Salmakova A. V., Ivanov A. V., Panin A. N., Sklyarov O. D., Shumilov K. V., Klimanov A. I. Comparative study of the immunobiological properties of live brucellosis vaccines. *Vaccine*. 2010;28(5):35-40. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vaccine.2010.03.050>
37. Wang S., Zhao X., Sun K., Bateer H., Wang W. The Genome Sequence of *Brucella abortus* vaccine strain A19 provides insights on its virulence attenuation compared to *Brucella abortus* strain. *Gene*. 2022;830:146521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.gene.2022.146521>
38. Южаков А. А., Лайшев К. А., Деттер Г. Ф., Зуев С. М. Селекционно-племенная работа в северном оленеводстве Арктических регионов РФ. *Ветеринария и кормление*. 2021;(4):59-62. DOI: <https://doi.org/10.30917/АТТ-ВК-1814-9588-2021-4-17> EDN: TIGUQW
- Yuzhakov A. A., Layshev K. A., Detter G. F., Zuev S. M. Selection and breeding work in the northern reindeer husbandry of the arctic regions of the Russian Federation. *Veterinariya i kormlenie*. 2021;(4):59-62. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30917/АТТ-ВК-1814-9588-2021-4-17>
39. Гордиенко Л. Н., Новиков А. Н., Куликова Е. В. Эффективность дифференциального теста при диагностике бруцеллеза северных оленей. *Ветеринария*. 2020;(11):7-10. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.11.07-10> EDN: BQFWET
- Gordienko L. N., Novikov A. N., Kulikova E. V. effectiveness of the differential test at using in the diagnostics of reindeer brucellosis. *Veterinariya = Veterinary*. 2020;(11):7-10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2020.23.11.07-10>
40. Лайшев К. А., Забродин В. А., Прокудин А. В., Винокуров Н. В., Слепцов Е. С. Проблемы профилактики бруцеллеза северных оленей и пути их решения. *Генетика и разведение животных*. 2018;(1):37-45. DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-37-45> EDN: XSRFTN

Layshev K. A., Zabrodin V. A., Prokudin A. V., Vinokurov N. V., Sleptsov E. S. Problems of prevention of brucellosis of reindeer and ways of their solution. *Genetika i razvedenie zhivotnykh* = Genetics and breeding of animals. 2018;(1):37-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31043/2410-2733-2018-1-37-45>

41. De Alencar Mota A. L. A., Ferreira F., Ferreira Neto J. S., Dias R. A., Amaku M., Grisi-Filho J. H. H., Telles E. O., Gonçalves V. S. P. Large-scale study of herd-level risk factors for bovine brucellosis in Brazil. *Acta Tropica*. 2016;164:226-232. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actatropica.2016.09.016>

42. Franc K. A., Krecek R. C., Häsler B. N., Arenas-Gamboa A. M. Brucellosis remains a neglected disease in the developing world: a call for interdisciplinary action. *BMC Public Health*. 2018;18:125. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12889-017-5016-y>

43. Dorneles E. M. S., Sriranganathan N., Lage A. P. Recent advances in *Brucella abortus* vaccines. *Veterinary Research*. 2015;46:76. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13567-015-0199-7>

44. Asakura S., Makingi G., Kazwala R., Makita K. Brucellosis Risk in Urban and Agro-pastoral Areas in Tanzania. *Ecohealth*. 2018;15(1):41-51. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10393-017-1308-z>

45. Avila-Granados L. M., Garcia-Gonzalez D. G., Zambrano-Varon J. L., Arenas-Gamboa A. M. Brucellosis in Colombia: Current Status and Challenges in the Control of an Endemic Disease. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019;6:321. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00321>

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 группы 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>

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 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 group, 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>

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, 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

Влияние различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул (обзор)

© 2023. С. В. Брагинец^{1, 2}, О. Н. Бахчевников¹✉, К. А. Деев¹

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

²ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет»,

г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация

Актуальным является установление закономерностей процесса гранулирования растительного сырья для совершенствования технологий и технических средств с целью снижения энергоемкости и улучшения качества гранул. Целью исследования является обобщение результатов исследований, посвященных влиянию различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество кормовых и биотопливных гранул. Выполнен отбор и систематический обзор научной литературы по тематике исследования за период 2007-2022 гг. Анализ показал, что предварительная тепловая обработка и увлажнение растительного сырья, а также его состав и размеры частиц являются факторами, оказывающими наибольшее влияние на качество кормовых и биотопливных гранул. Повышение давления в диапазоне 20-200 МПа приводит к увеличению прочности гранул, а температура матрицы около 100 °С является оптимальной для получения плотных качественных гранул из растительного сырья. Важную роль в получении качественных гранул при обработке растительного сырья играют конструктивные параметры пресс-гранулятора. Исполнение входной части фильеры матрицы в форме сужающегося конуса способствует снижению энергоемкости и давления гранулирования, а увеличение отношения длины канала фильеры к его диаметру экспоненциально увеличивает давление гранулирования и его энергоемкость. Взаимодействие между физическими процессами, происходящими в пресс-грануляторе, усложняет интерпретацию влияния каждого параметра на процесс гранулирования, вследствие этого авторы по-разному оценивают вклад отдельных факторов в получение качественных гранул. Поэтому необходимо восполнить пробел в знаниях о взаимодействии между отдельными параметрами гранулирования и их влиянии на результаты процесса.

Ключевые слова: корма, биотопливо, пресс-гранулятор, фильера матрицы, плотность гранул, прочность гранул, энергоемкость гранулирования

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: Брагинец С. В., Бахчевников О. Н., Деев К. А. Влияние различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):30-45. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.30-45>

Поступила: 25.12.2022

Принята к публикации: 30.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Influence of various parameters on the vegetable raw material pelleting process and pellets quality (review)

© 2023. Sergey V. Braginetz^{1, 2}, Oleg N. Bakhchevnikov¹✉, Konstantin A. Deev¹

¹Agricultural Research Centre Donskoy, Zernograd, Russian Federation

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

Determining the regularities of the process of pelleting vegetable raw materials is relevant for the improvement of technologies and technical equipment in order to reduce energy intensity and improve the quality of pellets. The generalization of the results of the research aimed at studying the influence of various parameters on the process of pelleting vegetable raw materials and the quality of feed and biofuel pellets is the purpose of the research. A selection and systematic review of the scientific literature on the subject of the study for the period of 2007-2022 has been carried out. The analysis has proved that heat pre-treatment and moistening of vegetable raw materials, as well as their composition and particle size are the factors that have the greatest impact on the quality of feed and biofuel pellets. Increasing the pressure in the range of 20...200 MPa results in increasing the pellets durability. A die temperature of around 100°C is optimum for obtaining dense pellets of high-quality from vegetable raw materials. The design parameters of the pelletizer play an important role in obtaining high-quality pellets when processing vegetable raw materials. The design of the inlet in the form of a tapering cone helps to reduce energy consumption and pelleting pressure. An increase in the ratio of the die channel length to its diameter exponentially increases the pelleting pressure and its energy intensity. The interplay between the physical processes occurring in the pelletizer makes it difficult to interpret the impact of each parameter on the pelleting process, so different authors have different assessments of the contribution of individual factors in producing high-quality pellets. Therefore, the interaction between the individual pelleting parameters and their influence on the results of the process should be examined more precisely.

Keywords: feeds, biofuel, pelletizer, die, pellet density, pellet durability, pelleting energy intensity

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 declare no conflict of interest.

For citation: Braginets S. V., Bakhchevnikov O. N., Deev K. A. Influence of various parameters on the vegetable raw materials pelleting process and pellets quality (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):30-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.30-45>

Received: 15.12.2022

Accepted for publication: 30.01.2023

Published online: 27.02.2023

В настоящее время гранулирование получаемого в результате смешивания предварительно измельченного сырья комбикормов стало стандартной технологической операцией для крупных и средних комбикормовых заводов и получает все большее применение в небольших внутрихозяйственных производствах сельхозпредприятий [1]. Применение гранулированных кормов, состоящих в основном из растительного сырья, стало в последние годы стандартом в птицеводстве и свиноводстве, тогда как другие отрасли животноводства охвачены им в меньшей степени. В то же время в аквакультуре гранулирование комбикормов, получив в XX веке широкое распространение, в наше время уступает место их экструдированию [2]. Тем не менее, гранулирование кормов остается актуальным для кормления всеядных рыб, в частности карповых, в пресноводной аквакультуре [3].

Целью гранулирования растительного сырья при производстве кормов является преобразование однородной смеси ингредиентов в прочные частицы (гранулы), обладающие физическими характеристиками, которые делают их пригодными для кормления конкретного вида и половозрастной группы животных [2, 4]. Гранулирование рассыпного корма уменьшает его потери при транспортировании и кормлении, увеличивает срок хранения, улучшает питательную ценность [4].

В настоящее время увеличивается использование биотоплива, изготавливаемого из растительного сырья, а именно отходов деревообрабатывающей промышленности (опилки, кора и др.) и отходов сельского хозяйства (лузга подсолнечника, солома и др.) в виде топливных гранул (пеллет) [5]. Целью гранулирования растительного сырья при производстве биотоплива является обеспечение возможности его эффективной транспортировки, хранения и использования в качестве топлива [6].

Процесс гранулирования, как известно, заключается в прессовании рассыпного сырья в гранулы путем его продавливания прессующими роликами через отверстия (фильеры)

матрицы [5]. Важное значение для успешного осуществления процесса имеет предварительная обработка рассыпного растительного сырья паром либо добавление в него воды, а при производстве кормов и мелассы – жиров или других связывающих веществ [4]. Операцию гранулирования осуществляют в специальных машинах-грануляторах (пресс-грануляторах), которые оснащены вертикальными кольцевыми либо горизонтальными плоскими матрицами с каналами (фильерами) [7].

Но, несмотря на широкое использование операции гранулирования в технологическом процессе производства комбикормов и биотоплива, продолжают научные исследования, направленные на установление закономерностей процесса получения гранул из растительного сырья с целью совершенствования соответствующих технологий и технических средств в направлении снижения энергоемкости процесса и улучшения качества гранул [8, 9].

Цель исследования – обобщение результатов исследований и анализ научных статей, посвященных влиянию различных параметров на процесс гранулирования растительного сырья и качество получаемых кормовых и биотопливных гранул, для выявления актуальных результатов и перспективных направлений исследований в этой области.

Материал и методы. Систематический обзор научных статей по тематике гранулирования растительного сырья выполняли по методике, приведенной в работах Р. Дж. Торрако (R. J. Torraso) [10] и Ч. Околи (C. Okoli) [11], излагающей последовательность отбора публикаций, их критического анализа и синтеза резюмирующих выводов.

Для выявления и отбора научных статей, опубликованных на английском языке, осуществили поиск по приведенным выше ключевым словам в библиографических информационных базах ResearchGate, ScienceDirect и Google Scholar. Также выполнили поиск по ключевым словам в Научной электронной библиотеке eLIBRARY.RU и библиографической базе Google Scholar для нахождения и

отбора научных статей, опубликованных на русском языке. Дополнительно был сделан обзор содержания научных журналов, публикующих статьи по рассматриваемой теме. При выборе статей для настоящего обзора приоритет отдан публикациям с наибольшим количеством цитирований. Также изучили пристатейные списки литературы отобранных статей для дополнительного нахождения релевантных источников научной информации.

Кроме статей по гранулированию сельскохозяйственного сырья при приготовлении кормов, в обзоре рассмотрены и публикации, посвященные производству топливных гранул из растительного сырья, ввиду значительного сходства этих технологических процессов. В работу включены материалы исследований, рассматривающих процесс гранулирования в пресс-грануляторах с вертикальными кольцевыми или горизонтальными плоскими матрицами. Иные типы грануляторов не рассматривали.

В качестве временных рамок для настоящего обзора научных статей принят период 2007-2022 гг. Научные статьи, опубликованные ранее 2007 г., включали в данный обзор только при отсутствии более новых публикаций по конкретному аспекту исследуемой темы.

Основная часть.

Ключевыми параметрами, влияющими на протекание процесса гранулирования растительного сырья и качество гранул, являются состав сырья и размер его частиц, а также влажность [4, 9]. Значительное влияние на процесс гранулирования растительного сырья и его результаты оказывают температура и давление [8, 9]. Также протекание процесса зависит от типа гранулятора и технических характеристик его рабочих органов, в частности прессующих роликов, матрицы и ее фильер [12].

Влияние размера частиц сырья. Размер частиц растительного сырья оказывает влияние на производительность гранулирования и качество гранул [4, 13]. Исследования показали, что уменьшение размера частиц сырья увеличивает силу трения в канале фильеры [14], площадь их поверхности, тем самым увеличивая количество и площадь контактных площадок между частицами, в результате чего в частицах усиливается межмолекулярная адгезия, в частности действие силы Ван-дер-Ваальса [4]. Все это приводит к повышению плотности гранул, что положительно сказывается на их качестве [15, 16].

Уменьшение размера частиц сырья увеличивает капиллярность между их твердой и жидкой составляющими, способствуя лучшему и более равномерному проникновению влаги при предварительном увлажнении сырья [6, 9]. Кроме того, повышенное трение, которому подвергаются частицы, приводит к их большему нагреву, чему также способствуют их малый размер и повышенная капиллярность [4, 9]. Все это приводит к уменьшению влажности готовых гранул [5, 17].

Результаты экспериментов свидетельствуют, что уменьшение размера частиц растительного сырья повышает прочность готовых гранул [4]. Так, Д. Бергстрем и соавторы (D. Bergström et al.) установили, что гранулирование растительного сырья с размером частиц менее 1 мм требует меньше энергии и обеспечивает получение гранул с более высокой прочностью на сжатие, чем при использовании сырья с частицами размером 1-2 и 2-4 мм [18].

Различные исследователи считают оптимальным при гранулировании растительного сырья размер частиц от 1 до 3 мм. В частности, С. Мани (S. Mani) считает оптимальным размер частиц менее 3,2 мм [19], а В. Стелте (W. Stelte) – от 1 до 3 мм [20]. Но следует учитывать, что предварительное измельчение сырья до размера частиц менее 1 мм значительно увеличивает энергоемкость технологического процесса и снижает его производительность, что, соответственно, повышает себестоимость готовых гранул [5]. Кроме того, результаты исследований показали, что слишком мелкий размер частиц сырья (менее 0,5 мм) ухудшает прочность гранул [4, 12].

Производителям необходимо искать компромисс между увеличением прочности гранул при уменьшении размера частиц растительного сырья и повышением себестоимости готового гранулированного корма или биотоплива.

Влияние влажности сырья. Вода, содержащаяся в сырье, а также добавляемая в смеситель при его смешивании либо вводимая в виде пара во время кондиционирования, способствует связыванию частиц при гранулировании [4]. Эта агглютинирующая способность воды основана на капиллярном эффекте и поверхностном натяжении [4, 21].

Дж. С. Мориц и соавторы (J. S. Moritz et al.) исследовали влияние добавления воды в смеситель в количестве 0,25 и 50 г/кг и установили, что значение PDI (индекс долговечности гранул) в результате составило соответ-

ственно 75,6 и 79,6 % [22]. М. Р. Абдоллахи и соавторы (M. R. Abdollahi et al.) установили, что добавление воды в количестве 24 г/кг корма, кондиционированного при 60 °С, увеличило PDI с 56,5 до 67,2 % [23]. Таким образом, предварительное увлажнение растительного сырья увеличивает прочность получаемых гранул.

Однако при излишнем увлажнении вода может действовать как смазка, снижая трение в фильтре в процессе гранулирования, что отрицательно сказывается на долговечности и прочности гранул [24, 25]. Это явление подробно исследовал Р. Колович (R. Colovic), который установил, что повышение влажности сырья нивелирует положительное влияние увеличения длины канала матрицы на прочность гранул [26].

В целом, гранулы, изготовленные при недостаточном количестве влаги, являются сухими и рассыпчатыми, а избыток влаги приводит к получению недостаточно прочных гранул [3].

Влияние содержания жиров. Содержание жиров в сырье оказывает влияние на процесс и результаты гранулирования кормов. Давление, оказываемое на частицы растительного сырья при гранулировании, приводит к тому, что жиры и масла перемещаются на их поверхность [4]. Поверхностный слой липидов действует как смазка, уменьшая трение в фильтре и тем самым снижая давление гранулирования и уменьшая затраты энергии [20]. Жир уменьшает контакт сырья со стенками канала фильеры, облегчая прохождение корма через него и тем самым уменьшая его уплотнение [4, 27]. Поэтому гранулируемый корм должен содержать некоторое количество жиров – минимум 2 % [3, 27].

С. К. Гэринг (C. K. Gehring) установил, что введение в состав корма жиров в смеситель положительно влияет на питательную ценность гранул, так как образующийся на поверхности гранул жировой слой способствует снижению давления и температуры в процессе гранулирования, что способствует лучшей сохранности термолабильных веществ, таких как витамины [28].

Таким образом, увеличение содержания жиров в сырье, с одной стороны, действует положительно, уменьшая энергоемкость процесса гранулирования и повышая питательную ценность корма, а с другой стороны, отрицательно, снижая плотность и прочность гранул.

Поэтому в настоящее время большинство специалистов считает, что количество жиров в корме, подвергнутом гранулированию, должно быть не менее 2-3 % и не более 8-10 % [3]. В тех случаях, когда требуется включить в состав комбикорма большее количество жиров, рационально выполнять эту операцию уже после гранулирования посредством вакуумного напыления [29].

Влияние кондиционирования сырья. Предварительное кондиционирование сырья необходимо для получения гранулированного корма хорошего качества, что обеспечивается увлажнением сырья и изменением его структуры [6, 30]. Во время кондиционирования горячий пар разрушает структуру крахмала, что приводит к его желатинизации, и это позволяет связывать частицы корма, обеспечивая получение прочных гранул [4, 6]. При правильном процессе кондиционирования гранулы имеют высокую прочность, снижается потребление энергии, используемой для их производства, а также уменьшается износ фильер [6, 21].

Из научных статей по этой тематике можно отметить работу М. Сегерстром (M. Segerstrom), подтвердившую, что предварительный нагрев растительного сырья снижает потребление энергии пресс-гранулятором [31]. Если сырье не подвергается предварительному нагреву перед гранулированием, то гранулятор будет потреблять больше энергии для производства прочных гранул, что увеличивает износ матрицы и роликов [5].

М. Р. Абдоллахи и соавторы (M. R. Abdollahi et al.) оценили влияние температуры кондиционирования на качество гранул кормов на основе кукурузы и сорго и установили, что при повышении температуры с 75 °С до 90 °С PDI улучшался в обоих случаях, при 90 °С его увеличение было более значительным [32].

Р. Кулиг (R. Kulig) установил, что количество пара и тепла, которые расходуются в процессе кондиционирования кормов, в основном зависит от свойств и содержания в растительном сырье определенных ингредиентов [33]. Зерновые и бобовые культуры с низким содержанием клетчатки относительно легко поглощают влагу и тепло, в то время как богатое клетчаткой растительное сырье менее восприимчиво к кондиционированию. В ходе экспериментов Р. Кулиг (R. Kulig) определил, что наибольших затрат тепловой энергии при кондиционировании требует богатая клетчаткой люцерна, а самых низких – кукуруза с ее малым содержанием.

М. Т. Нетто (M. T. Netto) установил, что при гранулировании корма на основе кукурузы и сои повышение температуры кондиционирования с 60 до 90 °С приводило к линейному увеличению PDI и твердости гранул [34]. Р. Душ Сантуш (R. Dos Santos) также определил, что при более высокой температуре кондиционирования 85 °С физическое качество гранул корма (процент неповрежденных гранул, твердость гранул, индекс прочности гранул) выше, чем при температуре 65 °С [35].

Таким образом, кондиционирование при более высокой температуре позволяет улучшить качество гранул, но при гранулировании следует учитывать влияние на протекание процесса состава растительного сырья.

Влияние давления гранулирования. Давление является одним из важных переменных параметров процесса гранулирования [5, 36]. Оно обусловлено сопротивлением при продавливании сырья прессующими роликами через каналы в матрице [5, 37]. Давление гранулирования (прессования) также называют противодавлением [5]. Оно обусловлено внутренним трением между частицами сырья в результате возникновения напряжения сдвига и внешним трением между сырьем и стенками канала матрицы.

Давление гранулирования зависит от сырья, типа гранулятора и прочих параметров процесса и не поддается прямому контролю. Давление гранулирования растительного сырья обычно имеет значения в диапазоне 20-200 МПа, причем более высокое давление характерно для производства биотопливных гранул [38]. В пресс-грануляторах давление непосредственно не измеряют, а оценивают по потребляемой ими в процессе работы электрической мощности [39].

В. Стелте и соавторы (W. Stelte et al.) при изучении гранулирования топливных гранул из древесины и соломы установили, что давление гранулирования активно снижается при повышении температуры сырья до 140 °С, после достижения которой скорость его снижения значительно уменьшается [14].

К. Уиттакер (C. Whittaker) и И. Шилд (I. Shield) установили, что более высокое давление гранулирования приводит к получению более прочных гранул [40]. При повышении давления гранулирования плотность получаемых гранул увеличивается, но лишь до определенного предела [5]. В. Стелте и соавторы

(W. Stelte et al.) установили, что увеличение давления гранулирования свыше 200 МПа уже не приводит к повышению плотности гранул [14]. Это согласуется с результатами более раннего исследования М. О. Фабороде (M. O. Faboroode), который разделил процесс сжатия волокнистых сельскохозяйственных материалов под давлением на дисперсную и плотную фазы [41]. В дисперсной фазе сжатия доминирует сила инерции отдельных частиц сырья, в то время как в плотной фазе преобладают упругие силы, так как уплотненное сырье действует как единое твердое тело. Таким образом, гранулы формируются в каналах матрицы под действием давления гранулирования [9].

С. Мани (S. Mani) исследовал и описал процесс формирования гранул из растительного сырья с точки зрения приложенного давления [42]. По его мнению, начальная стадия образования гранул, также называемая перегруппировкой частиц, происходит при низком давлении, когда частицы сырья перемещаются и перестраиваются, заполняя пустоты. На второй стадии, по мере увеличения давления, возрастает плотность гранул, внутри которых происходит сцепление частиц в результате межмолекулярной адгезии [42, 43].

Результаты исследований С. Мани (S. Mani) по гранулированию растительного сырья (измельченная солома и стебли) также показали, что при увеличении давления в диапазоне 30...160 МПа плотность гранул повышается (рис. 1) [42]. Но если в диапазоне давления 30...80 МПа плотность интенсивно повышается, то с увеличением давления свыше 90 МПа плотность гранул повышается незначительно.

Таким образом, увеличение давления гранулирования в диапазоне 20-150 МПа способствует повышению плотности гранул.

Влияние температуры. Температура процесса гранулирования зависит от трех параметров: температура сырья на входе; влажность сырья; трение и сопротивление в каналах матрицы гранулятора [5]. Температура и влажность сырья определяются параметрами процесса кондиционирования, тогда как нагрев в каналах матрицы зависит от их конструкции и состава сырья [9].

Д. А. Агар (D. A. Agar) установил, что температура гранул из растительного сырья снижается при увеличении влажности сырья, что он объясняет высокой теплоемкостью воды и скрытой теплотой испарения [38].

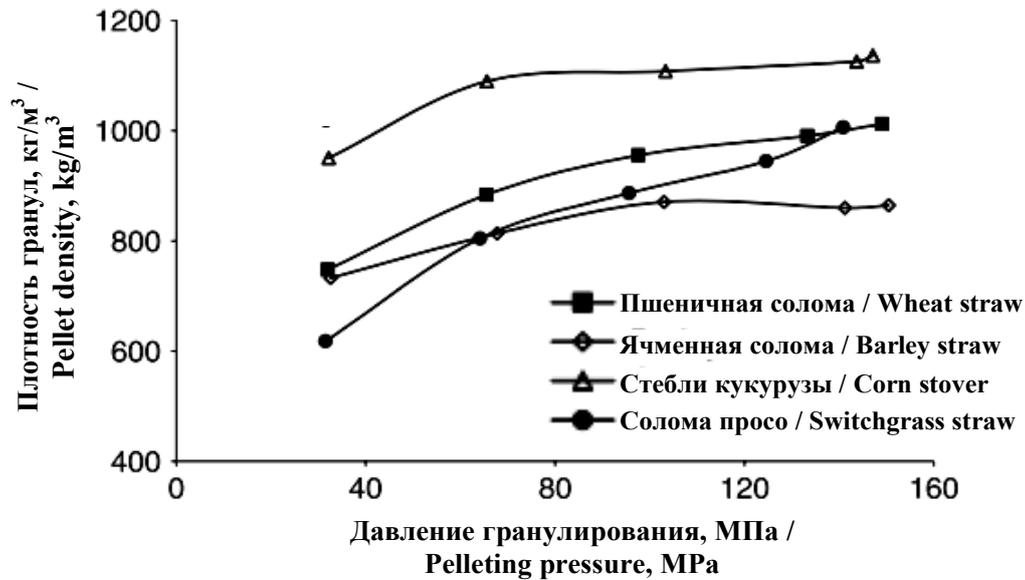


Рис. 1. Зависимость плотности гранул от давления гранулирования (С. Мани (S. Mani) [42]) /
 Fig. 1. Dependence of pellet density on pelleting pressure (S. Mani [42])

В ходе экспериментов ученые измеряли температуру матрицы в процессе гранулирования растительного сырья [9, 44, 45]. По их сообщениям, она составляет от 70 до 150 °С.

В статье С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) приведена термографическая фотография кольцевой вертикальной матрицы, сделанная сразу после остановки гранулятора, гранулировавшего измельченную древесину эвкалипта (рис. 2) [5].

Как видно из рисунка 2, температура различных участков матрицы изменяется в диапазоне 63-135 °С, причем температура вблизи внешнего ряда каналов матрицы ниже по сравнению с внутренними рядами. Это может быть объяснено потерей тепла с поверхности матрицы, что приводит к более высокой температуре в ее центральной части.

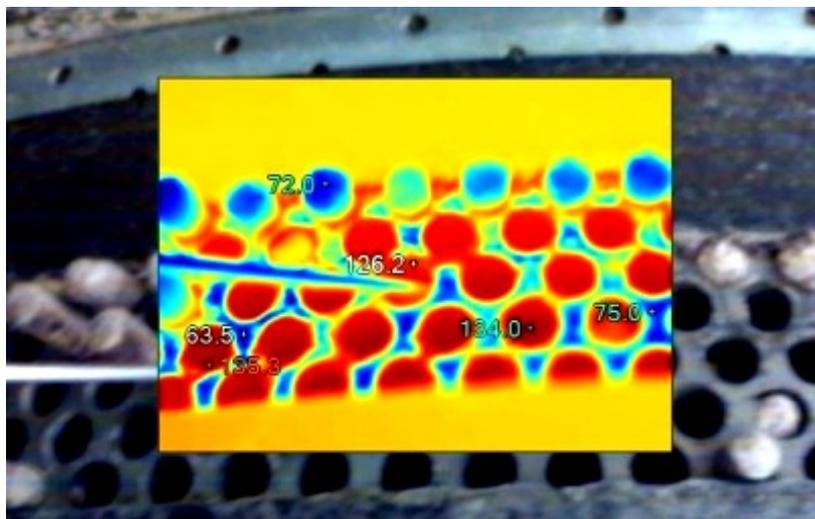


Рис. 2. Термографическая фотография кольцевой вертикальной матрицы, сделанная сразу после остановки пресс-гранулятора (С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) [5]) /
 Fig. 2. Thermographic photo of the vertical ring die, made immediately after stopping the pelletizer (S. K. Nielsen [5])

Температура процесса гранулирования влияет на связывание частиц в гранулах [9, 46]. К. Уиттакер (С. Whittaker) установил, что температура гранулирования оказывает большое влияние на трение и склеивание частиц, при

этом высокая температура приводила к лучшему склеиванию [40]. В. Стелте и соавторы (W. Stelte et al.) изучали механизмы склеивания частиц в топливных гранулах из древесины и соломы и установили, что гранулы,

произведенные при более высокой температуре, выдерживают большую силу сжатия до разрушения и имеют более плотную структуру [20].

Многие исследования посвящены вопросу оптимальной температуры гранулирования растительного сырья. По мнению В. В. Кувшинова, оптимальная температура гранулирования кормов – 100-140 °С [46]. К. Серрано (С. Serrano) считает, что оптимальная температура матрицы гранулятора для получения пеллет из ячменной соломы при работе в стабильных условиях составляет около 90 °С [47]. М. Е. Мостафа (М. Е. Mostafa) и Дж. С. Тумулуру (J. S. Tumuluru) установили, что оптимальная температура матрицы для гранулирования биотопливного растительного сырья близка к 100 °С [48, 49]. Но Б. Шафран (B. Safraan) обнаружил, что повышение температуры от 170 до 220 °С при гранулировании древесины может увеличить плотность гранул, что, в свою очередь, повышает теплотворную способность биотоплива [50].

На основе анализа научных работ можно сделать вывод, что оптимальную температуру гранулирования необходимо экспериментально определять для каждого вида растительного сырья.

Влияние состава сырья. Выше было показано влияние входящих в состав растительного сырья воды и жиров, а также размера его частиц на процесс гранулирования. Каждый вид сырья имеет свои особенности протекания процесса гранулирования в зависимости от перечисленных параметров.

При изготовлении биотопливных пеллет большую роль играет механическая прочность исходного сырья, поэтому в его состав помимо древесины твердых пород рационально включать древесину мягких пород и сельскохозяйственное сырье [9]. Исследования Н. Ю. Харун (N. Y. Harun) и М. Афзал (M. Afzal) показали, что смешивание сельскохозяйственной биомассы с древесной улучшает механические и физические свойства топливных гранул [13].

Ж. Кошак и А. Кошак подробно исследовали влияние состава комбикорма для птицы на удельную энергоёмкость процесса гранулирования [51]. Они установили, что увеличение содержания зерна в корме на 35,16 % приводит к повышению удельной энергоёмкости процесса на 60,13 %. Увеличение содержания шротов и масел в корме на 7,2 % вызывает снижение удельной энергоёмкости на 18,1 %.

Взаимодействие различных факторов. Несколько факторов могут совместно влиять на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул [4, 52]. При этом доля влияния каждого фактора на конечный результат различна.

По мнению К. Мурамацу (K. Muramatsu), вклад в воздействие различных факторов на PDI (индекс долговечности гранул) корма следующий: тепловая обработка (кондиционирование) – 44 %; влажность сырья – 16 %; содержание жиров – 9 %; размер частиц сырья – 1 %; прочие факторы – 31 % [4]. Результаты моделирования показали, что наиболее эффективным действием для улучшения качества гранул является кондиционирование сырья, за которым в порядке убывания следуют добавление влаги, уменьшение содержания жиров и, наконец, уменьшение размера частиц сырья.

По мнению К. П. Кумарагуру Васагам (K. P. Kumaraguru Vasagam), качество гранул примерно на 60 % зависит от предварительной обработки растительного сырья [3].

По мнению А. Клименко и А. Гущевой-Митропольской, вклад в воздействие различных факторов на качество гранул корма следующий: состав корма – 40 %; кондиционирование – 20 %; размер частиц – 20 %; технические параметры гранулятора – 15 %; охлаждение – 5 % [52].

По мнению специалиста фирмы «Vorre-gaard LignoTech» М. Иванов (M. Ivanov), соотношение влияния факторов при гранулировании кормов таково: состав сырья – 45 %; кондиционирование – 30 %; размер частиц сырья – 10 %; параметры матрицы – 10 %; влажность и температура – 5 % [53].

Мнения исследователей о соотношении влияния различных факторов на процесс гранулирования растительного сырья сведены в таблицу.

По мнению С. К. Нильсен и соавторов (S. K. Nielsen et. al.), сложное взаимодействие между многочисленными физическими процессами, происходящими одновременно в пресс-грануляторе, усложняет интерпретацию влияния каждого параметра на процесс получения биотопливных гранул [5]. Они считают, что в современной научной литературе существует пробел в понимании взаимодействия между некоторыми параметрами гранулирования и их влиянием на результаты процесса.

Таблица – Мнения исследователей о соотношении влияния различных факторов на процесс гранулирования растительного сырья и качество гранул /

Table – Researchers' opinions on the correlation between the influence of different factors on the pelleting process of plant raw materials and the quality of the pellets

Фактор / Factor	Доля влияния фактора на процесс гранулирования и качество гранул, % / Proportion of the influence of the factor on the pelleting process and pellet quality, %		
	К. Мурамацу (K. Muramatsu) [4]	А. Клименко и А. Гущева-Митропольская [52] / A. Klimenko & A. Gushcheva-Mitropolskaya	М. Иванов (M. Ivanov) [53]
Тепловая обработка (кондиционирование) / Heat treatment (conditioning)	44	20	30
Влажность сырья / Moisture content of raw materials	16	-	2
Содержание жиров / Fat content of the raw material	9	-	-
Размер частиц сырья / Particle size of the raw material	1	20	10
Состав сырья / Composition of raw material	-	40	45
Конструктивные параметры пресс-гранулятора / Design parameters of the pelletizer	-	15	10
Охлаждение / Cooling	-	5	-
Температура / Temperature	-	-	3
Прочие факторы / Other factors	31	-	-

Поэтому, несмотря на значительный объем знаний, накопленных за последние годы, необходимы дальнейшие исследования взаимодействия факторов, влияющих на качество гранул из растительного сырья.

Влияние конструкции матрицы гранулятора. Матрица является основным рабочим органом пресс-гранулятора. Ее основными конструктивными параметрами являются площадь, толщина, определяющая длину канала ее фильер, количество и расположение фильер [5].

Гранулирование корма по сравнению с биотопливом требует меньших усилий, поэтому прочность матрицы в грануляторе для производства топливных пеллет следует увеличивать за счет уменьшения ее ширины и соответственно площади, и увеличения толщины [5].

Большое значение для протекания процесса гранулирования имеют количество и схема распределения каналов прессования (фильер) в матрице. По мнению В. Стелте (W. Stelte), при проектировании необходимо добиваться максимального количества отверстий, насколько это возможно сделать, не

нарушая механической целостности самой матрицы [14].

Фильеры в кольцевой матрице распределяются в ряды, ориентированные по нормали к окружности. Внутреннюю поверхность матрицы разделяют на следующие зоны (рис. 3) [5, 54]:

- активная – суммарная площадь отверстий цилиндрических каналов прессования в фильерах на поверхности матрицы;
- переходная – суммарная площадь проекций конического входа в каналы фильер;
- неактивная – поверхность матрицы между фильерами.

По сообщениям разных авторов, площадь активной зоны кольцевой матрицы в пресс-грануляторах составляет от 30 до 60 % ее внутренней поверхности.

Результаты исследований Н. П. К. Нильсен (N. P. K. Nielsen) показали, что неактивная зона матрицы также влияет на давление гранулирования, так как на неактивных участках материал двигается в окружном направлении матрицы, пока не достигнет переходной зоны, при этом круговое движение сырья увеличивает напряжения, создаваемые в области между матрицей и роликами [45].

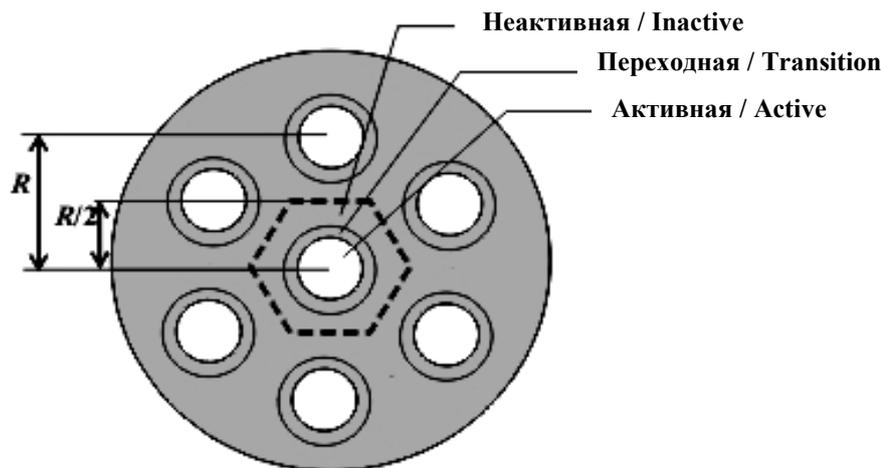


Рис. 3. Зоны поверхности матрицы пресс-гранулятора (С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) [5, 54]): R – расстояние между центрами входных отверстий фильер /

Fig. 3. Surface areas of the pelletizer die (S. K. Nielsen [5, 54]): R – distance between the centers of the inlet holes of the die

И. Медиавилла (I. Mediavilla) установил, что удельный массовый расход сырья через фильеры увеличился, а удельная энергоёмкость процесса гранулирования снизилась при уменьшении площади активной зоны матрицы [55].

В целом можно сделать вывод, что вопрос определения оптимального соотношения площади активной и неактивной зон матрицы

и расположения на ней входных отверстий фильер до сих пор недостаточно исследован, и при проектировании пресс-грануляторов решения зачастую принимаются исходя из производственного опыта, а не научных данных.

Влияние конструкции фильер матрицы гранулятора. На рисунке 4 представлена схема наиболее распространенной конструкции фильеры (канала) матрицы пресс-гранулятора.

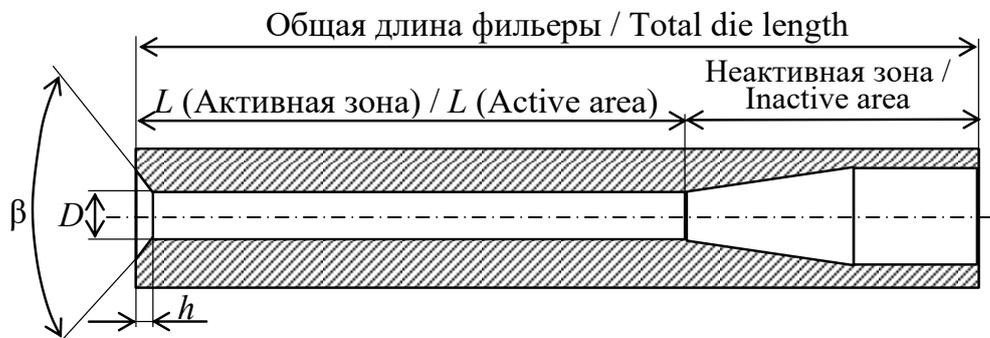


Рис. 4. Конструкция фильеры матрицы пресс-гранулятора: L – длина цилиндрического канала фильеры (активная зона); D – диаметр цилиндрического канала; h – глубина входной части канала; β – угол наклона конической входной части канала /

Fig. 4. Design of the pelletizer die: L – length of the cylindrical channel of the die (active zone); D – diameter of cylindrical channel; h – depth of inlet part of channel; β – angle of inclination of conical inlet part of channel

При производстве биотопливных гранул часто используют матрицы, входная часть каналов в которых выполнена в виде сужающегося конуса. При гранулировании кормов, особенно содержащих много клетчатки, часто применяют матрицы с каналами, входная часть которых выполнена в виде цилиндра с диаметром большим, чем диаметр активной зоны фильеры.

В результате исследований было показано, что конструкция входной части фильеры влияет на потребление энергии в процессе гранулирования и качество гранул [54].

С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) приводит результаты неопубликованных исследований Е. Винтер (E. Winter), который изучил гранулирование сырья для биотоплива в фильерах с углом наклона входной части канала β ,

равным 0, 4, 14 и 28° [5]. Гранулы, сформированные в фильере с наклоном входного канала 28°, имели самое низкое давление гранулирования и самое высокое качество, в том числе наилучшую прочность.

Н. Мисленович (N. Misljenovic) сравнил процесс гранулирования пшеничной соломы в фильере с входной конической частью и без таковой и установил, что в первом случае гранулы имели лучшее качество и были более прочными [56].

Дж. Ху (J. Hu) исследовал потребление энергии на гранулирование рисовой соломы при значениях угла β от 29,5 до 60,5° и установил, что минимальное значение энергопотребления было получено при $\beta = 60,5^\circ$ [57].

Следует учитывать, что коническая входная часть фильеры не должна быть слишком глубокой. С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) установил, что для фильер с глубокой входной частью давление гранулирования и расход энергии оказываются даже большими, чем для фильер без входной конической части [58]. Результаты исследований С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) показали, что глубина h конической входной части фильеры напрямую влияет на давление гранулирования и его энергоемкость.

К. Ву (K. Wu) исследовал влияние значения угла β на абразивный износ канала матрицы [59]. Он установил, что уменьшение значения угла β снижает давление гранулирования и, следовательно, истирание поверхности канала.

Н. Януков и соавторы для снижения износа каналов матрицы гранулятора предлагают придать входной части канала тороидальную форму, сходную с той, «которая образуется при износе во время продолжительной эксплуатации» [60].

Необходимо отметить, что имеются противоречивые данные о влиянии угла β на давление гранулирования и его энергоемкость. В частности, К. Ву (K. Wu) установил, что более низкое значение β снижает давление гранулирования [59], в то время как Дж. Ху (J. Hu) сообщает, что более высокие значения угла β снижают давление гранулирования [57]. При этом С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) не обнаружил прямой корреляции между значением угла β и давлением гранулирования [58]. Противоположные результаты этих исследований, по мнению С. К. Нильсен (S. K. Nielsen), могут быть связаны с тем, что не были

учтены данные о других конструктивных параметрах канала матрицы, таких как глубина канала, длина его активной и неактивной частей, которые не менее важны [5].

Основная часть процесса гранулирования сырья протекает в активной зоне фильеры, представляющей собой гладкий цилиндрический канал в матрице. Отношение длины этого канала к его диаметру L/D является конструктивным параметром, который используют для регулирования давления гранулирования различных видов сырья [4, 5]. При гранулировании сырья, создающего высокое трение в активной зоне канала, отношение L/D уменьшают, чтобы снизить сопротивление трению [5].

Древесную биомассу обычно гранулируют в фильерах с L/D в диапазоне от 3 до 5 [61]. Е. Мондеро (E. Monedero) исследовал гранулирование древесного сырья при соотношении L/D 2,83, 3,16 и 3,5 [62]. Он установил, что прочность гранул из древесины тополя увеличилась при переходе от $L/D = 2,83$ к $L/D = 3,16$, как и энергоемкость процесса. При соотношении $L/D = 3,5$ создаваемое сопротивление было слишком велико для стабильного производства этих гранул.

Для гранулирования сельскохозяйственной растительной биомассы обычно требуется более высокое соотношение L/D – от 5 до 9, что обусловлено низким трением такого сырья в канале матрицы [63]. П. Адапа (P. Adapa) успешно использовал для гранулирования сельскохозяйственной биомассы кольцевую матрицу с $L/D = 7,31$ [64]. К. Тхеерараттананоон (K. Theerarattananoon) сообщает, что в результате гранулирования стеблей и соломы при соотношении $L/D = 7$ были получены более прочные гранулы, чем при $L/D = 8$ [65].

В. Стелте (W. Stelte) установил, что давление гранулирования увеличивается экспоненциально при увеличении соотношения L/D [14]. Аналогичные результаты сообщает М. Пуч-Арнават (M. Puig-Arnabat) [66]. Результаты экспериментов, согласно которым давление гранулирования экспоненциально возрастает при увеличении соотношения L/D канала пресования, подтверждают выводы Дж. К. Холм (J. K. Holm) и соавторов, которые разработали уравнение для расчета давления гранулирования [67]. Данное уравнение основано на модели упругого напряжения-деформации, подчиняющегося закону Хукса, для расчета радиального давления в канале матрицы как функции

приложенного давления гранулирования, и использует постоянные анизотропные свойства материала гранулирования, выраженные через модуль Юнга и коэффициент Пуассона.

Н. К. Кроуфорд (N. C. Crawford) разработал уравнение, выведя его из уравнения Навье-Стокса, с помощью которого показал хорошую корреляцию между соотношением L/D , давлением гранулирования и потреблением электроэнергии пресс-гранулятором [39].

Таким образом, конструкция фильеры (канала) матрицы оказывает существенное влияние на процесс гранулирования растительного сырья. Исполнение входной части фильеры в форме сужающегося конуса способствует снижению энергоемкости процесса и необходимого давления гранулирования. Соотношение длины цилиндрического канала фильеры к его диаметру L/D является конструктивным параметром, который напрямую влияет на давление гранулирования и энергоемкость процесса.

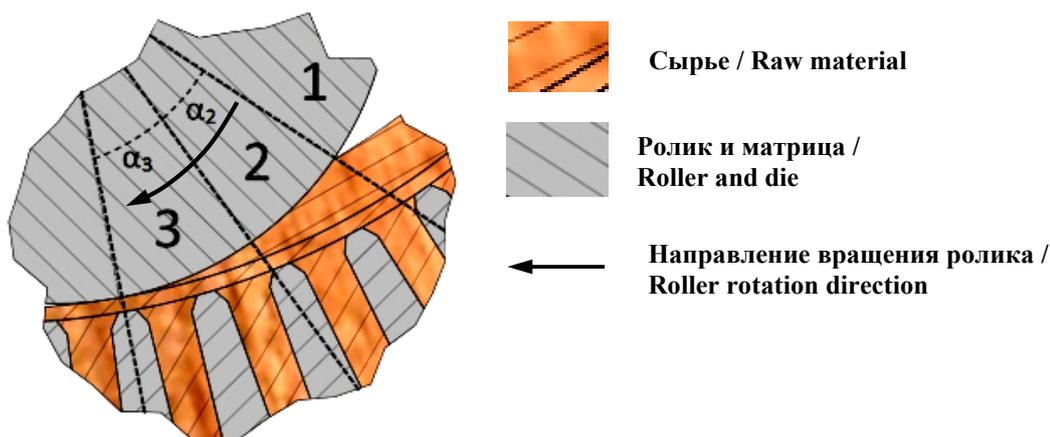


Рис. 5. Зоны области перед роликом на внутренней стороне кольцевой матрицы по степени воздействия на сырье (С. К. Нильсен (S. K. Nielsen) [5], С. Шуйцзюань (S. Shuijuan) [69]): 1 – подачи; 2 – деформации; 3 – формирования; α_2 , α_3 – углы зон деформации и формирования /

Fig. 5. Areas in front of the roller on the inside of the ring die by degree of impact on the raw material (S. K. Nielsen [5], S. Shuijuan [69]): 1 – supplying; 2 – deformation; 3 – formation; α_2 , α_3 – angles of deformation and formation areas

В зоне подачи частицы сырья прижимаются к внутренней поверхности матрицы под действием центробежной силы. В зоне деформации сырье подвергается воздействию сжимающих напряжений, меньших чем давление гранулирования P , определенное из уравнения, предложенного Дж. К. Холм (J. K. Holm) [70]. При переходе сырья в область формирования напряжение сжатия достигает значения давления гранулирования P , и сырье вдавливаются в каналы прессования [69]. Таким образом, С. Шуйцзюань (S. Shuijuan) считает, что напря-

Влияние конструкции прессующих роликов и их зазора с матрицей. Влияние зазора между прессующим роликом и матрицей, а также конструкции ролика являются одними из наименее изученных параметров процесса гранулирования.

Имеющиеся научные работы показывают, что зазор между роликом и матрицей влияет на механическую прочность гранул. Н. Калиян (N. Kaliyan) обнаружил, что при приготовлении гранулированных кормов увеличение зазора между роликом и кольцевой матрицей до 2,0-2,5 мм повысило прочность гранул, а дальнейшее увеличение зазора до 4-5 мм, напротив, снизило их прочность [68].

С. Шуйцзюань и соавторы (S. Shuijuan et al.) численно проанализировали напряжения, возникающие на внутренней стороне кольцевой матрицы, где сырье сжимается между ее поверхностью и роликом [69]. Они разделили область перед роликом на три зоны: подачи, деформации, формирования (рис. 5).

жение сжатия в области деформации линейно возрастает от нуля до P , а напряжение в зоне формирования равно P [69].

Х. Ся (X. Xia) разработал математическую модель для расчета сил, действующих на сырье между кольцевой матрицей и роликом, и определил, что уменьшение значения отношения радиусов матрицы и ролика приводит к повышению производительности гранулятора [71].

В. Ю. Полищук установил, что увеличение радиусов кольцевой матрицы и ролика

пресс-гранулятора на 20 % увеличивает производительность и снижает энергоемкость гранулирования [72].

На основе анализа научных работ можно сделать вывод, что влияние конструкции прессующих роликов и их зазора с матрицей является довольно существенным фактором, определяющим протекание процесса гранулирования, однако установление оптимальных значений этих параметров требует проведения дополнительных исследований.

Влияние скорости вращения кольцевой матрицы. Количество сырья, которое сжимается при каждом проходе роликов, зависит от величины его подачи в пресс-гранулятор и скорости вращения кольцевой матрицы [5]. Скорость вращения кольцевой матрицы также задает скорость сжатия сырья [8].

Дж. Ху (J. Hu) установил, что увеличение скорости сжатия с 44,5 до 75,5 мм/мин увеличило расход энергии на гранулирование [57]. К. Ву (K. Wu) также сделал вывод, что потребление энергии увеличивается при повышении скорости вращения матрицы, в то время как силы, действующие между матрицей и роликом, уменьшались, также снижался крутящий момент для вращения кольцевой матрицы [73].

Заключение. Повышение эффективности процесса гранулирования растительного сырья для производства биотопливных пеллет и гранулированных кормов находится в центре внимания инженеров и ученых.

Анализ результатов исследований показал, что предварительная тепловая обработка и увлажнение растительного сырья, а также его состав и размеры частиц, являются факторами, которые оказывают наибольшее влияние на качество кормовых и биотопливных гранул. На качество гранул комбикорма, помимо этого, большое влияние оказывает содержание жиров в исходном сырье.

Что касается значений этих параметров, то ученые считают оптимальным при гранулировании растительного сырья размер частиц от 1 до 3 мм. Растительное сырье для производства биотопливных гранул требует содержания влаги от 10 до 15 %, для кормовых

гранул – 15-20 %. Растительное сырье для производства кормовых гранул оптимально должно содержать от 2 до 10 % жира.

Регулирование в процессе гранулирования температуры и давления позволяет добиваться получения качественных гранул. Повышение давления в диапазоне 20-200 МПа приводит к увеличению прочности гранул, а температура матрицы около 100 °С является оптимальной для получения плотных качественных гранул из растительного сырья.

Проанализированные результаты показывают, что важную роль в получении качественных гранул при обработке растительного сырья играют конструктивные параметры пресс-гранулятора. Большинство ученых считает, что исполнение входной части фильеры матрицы в форме сужающегося конуса способствует снижению энергоемкости и давления гранулирования, а увеличение соотношения длины канала фильеры к его диаметру L/D экспоненциально увеличивает давление гранулирования и его энергоемкость. Влияние конструкции прессующих роликов и их зазора с матрицей является довольно существенным фактором, определяющим протекание процесса гранулирования, однако установление оптимальных значений этих параметров требует проведения дополнительных исследований.

Но, несмотря на значительный объем знаний, накопленных за последние годы, необходимы дальнейшие исследования взаимодействия факторов, влияющих на качество гранул, получаемых из растительного сырья. Сложное взаимодействие между многочисленными физическими процессами, происходящими одновременно в пресс-грануляторе, усложняет интерпретацию влияния каждого параметра на процесс гранулирования, в силу чего различные авторы по-разному оценивают вклад отдельных факторов в получение качественных гранул. Поэтому необходимо восполнить существующий пробел в знаниях о взаимодействии между отдельными параметрами гранулирования и их влиянии на результаты процесса.

References

1. Blagov D. A., Gizatov A. Y., Smakuyev D. R., Kosilov V. I., Pogodaev V. A., Tamaev S. A. Overview of feed granulation technology and technical means for its implementation. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020;613(1):012018. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/613/1/012018>
2. Regupathi E. R., Suriya A., Geethapriya R. S. On studying different types of pelletizing system for fish feed. International Journal of Fisheries and Aquatic Studies. 2019;7(2):187-192. URL: <https://www.fisheriesjournal.com/archives/2019/vol7issue2/PartC/7-2-4-857.pdf>

3. Kumaraguru Vasagam K. P., Ambasankar K., Dayal J. S. An overview of aquafeed formulation and processing. In: Perumal S., Thirunavukkarasu A. R., Pachiappan P. (eds) *Advances in Marine and Brackishwater Aquaculture*. Springer, New Delhi, 2015. pp. 227-240. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-2271-2_21
4. Muramatsu K., Massuquetto A., Dahlke F., Maiorka A. Factors that affect pellet quality: a review. *Journal of Agricultural Science and Technology*. 2015;9(2):717-722. DOI: <https://doi.org/10.17265/2161-6256/2015.09.002>
5. Nielsen S. K., Mando M., Rosenorn A. B. Review of die design and process parameters in the biomass pelleting process. *Powder Technology*. 2020;364: 971-985. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2019.10.051>
6. Gageanu I., Cujbescu D., Persu C., Tudor P., Cardei P., Matache M., Vladut V., Biris S., Voicea I., Ungureanu N. Influence of input and control parameters on the process of pelleting powdered biomass. *Energies*. 2021;14(14):4104. DOI: <https://doi.org/10.3390/en14144104>
7. Ольховик П. А., Шахов В. А., Хлопко Ю. А., Козловцев А. П., Межуева Л. В., Шахов В. В., Шахов Г. В. Основные тенденции совершенствования пресс-грануляторов. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2022;94(2):102-106. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-102-106> EDN: IVVIGW
Olkhovik P. A., Shakhov V. A., Khlopko Yu. A., Kozlovtev A. P., Mezhueva L. V., Shakhov V. V., Shakhov G. V. The main trends in the improvement of press granulators. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;94(2):102-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-102-106>
8. Thomas M., Van der Poel A. F. B. Fundamental factors in feed manufacturing: Towards a unifying conditioning/pelleting framework. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;268:114612. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2020.114612>
9. Dujmovic M., Safran B., Jug M., Radmanovic K., Antonovic A. Biomass Pelletizing Process: A Review. *Drvna Industrija*. 2022;73(1):99-106. DOI: <https://doi.org/10.5552/drvind.2022.2139>
10. 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>
11. 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>
12. Stelte W., Sanadi A. R., Shang L., Holm J. K., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. Recent developments in biomass pelletization – A review. *BioResources*. 2012;7(3):4451-4490. URL: https://orbit.dtu.dk/files/10266572/Recent_Development_Biomass_Pelletization_Review.pdf
13. Harun N. Y., Afzal M. Effect on particle size on mechanical properties of pellets made from biomass. *Procedia Engineering*. 2016;148:93-99. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.445>
14. Stelte W., Holm J. K., Sanadi A. R., Barsberg S., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. Fuel pellets from biomass: the importance of the pelletizing pressure and its dependency on the processing conditions. *Fuel*. 2011;90(11):3285-3290. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2011.05.011>
15. Lyu F., Thomas M., Hendriks W. H., Van der Poel A. F. B. Size reduction in feed technology and methods for determining, expressing and predicting particle size: A review. *Animal Feed Science and Technology*. 2020;261:114347. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2019.114347>
16. Рюле М. Как изменяется размер частиц при гранулировании. *Комбикорма*. 2020;(6):34-36. Режим доступа: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/06_20/2020_06_34-36.pdf EDN: CCZYPO
Ryule M. How particle size changes during pelleting. *Kombikorma*. 2020;(6):34-36. (In Russ.). URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/06_20/2020_06_34-36.pdf
17. Lisowski A., Matkowski P., Dąbrowska M., Piątek M., Świętochowski A., Klonowski J., Mieszkalski L., Reshietiuk V. Particle size distribution and physicochemical properties of pellets made of straw, hay, and their blends. *Waste and Biomass Valorization*. 2020;11:63-75. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12649-018-0458-8>
18. Bergström D., Israelsson S., Ohman M., Dahlqvist S. A., Gref R., Boman C., Wasterlund I. Effects of raw material particle size distribution on the characteristics of Scots pine sawdust fuel pellets. *Fuel Processing Technology*. 2008;89(12):1324-1329. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2008.06.001>
19. Mani S., Tabil L. G., Sokhansanj S. Effects of compressive force, particle size and moisture content on mechanical properties of biomass pellets from grasses. *Biomass and Bioenergy*. 2006;30(7):648-654. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2005.01.004>
20. Stelte W., Holm J. K., Sanadi A. R., Barsberg S., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. A study of bonding and failure mechanisms in fuel pellets from different biomass resources. *Biomass Bioenergy*. 2011;35(2):910-918. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2010.11.003>
21. Froetschner J. Conditioning Controls Quality of Pellet. *Feed Tech*. 2006;10(6):12-5. URL: <https://vk.cc/chaXTz>
22. Moritz J. S., Cramer K. R., Wilson K. J., Beyer R. S. Feed manufacture and feeding of rations with graded levels of added moisture formulated to different energy densities. *Journal Applied of Poultry Research*. 2003;12(3):371-381. DOI: <https://doi.org/10.1093/japr.12.3.371>
23. Abdollahi M. R., Ravindran V., Wester T. J., Ravindran G., Thomas D. V. Effect of improved pellet quality from the addition of a pellet binder and/or moisture to a wheat-based diet conditioned at two different temperatures on performance, apparent metabolisable energy and ileal digestibility of starch and nitrogen in broilers. *Animal Feed Science and Technology*. 2012;175(3-4):150-157. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2012.05.001>
24. Cutlip S. E., Hott J. M., Buchanan N. P., Rack A. L., Latshaw J. D., Moritz J. S. The effect of steam-conditioning practices on pellet quality and growing broiler nutritional value. *Journal Applied of Poultry Research*. 2008;17(2):249-261. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2007-00081>

25. Ungureanu N., Vladut V., Voicu G., Dinca M. N., Zabava B. S. Influence of biomass moisture content on pellet properties – review. *Engineering for Rural Development*. 2018;17:1876-1883. DOI: <https://doi.org/10.22616/ERDev2018.17.N449>
26. Colovic R., Vukmirovic D., Matulaitis R., Bliznikas S., Uchockis V., Juskiene V., Levic J. Effect of die channel press way length on physical quality of pelleted cattle feed. *Food & Feed Research*. 2010;37(1):1-6. URL: http://foodandfeed.fins.uns.ac.rs/uploads/Magazines/magazine_37/effect-of-die-channel-press-way-length-on-physical-quality-of-pelleted-cattle-feed.pdf
27. Abadi M. H. M. G., Moravej H., Shivazad M., Torshizi M. A. K., Kim W. K. Effect of different types and levels of fat addition and pellet binders on physical pellet quality of broiler feeds. *Poultry Science*. 2019;98(10):4745-4754. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pez190>
28. Gehring C. K., Lilly K. G. S., Shires L. K., Beaman K. R., Loop S. A., Moritz J. S. Increasing mixer-added fat reduces the electrical energy required for pelleting and improves exogenous enzyme efficacy for broilers. *Journal of Applied Poultry Research*. 2011;20(1):75-89. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr.2009-00082>
29. Lamichhane S., Sahtout K., Smillie J., Scott T. A. Vacuum coating of pelleted feed for broilers: opportunities and challenges. *Animal Feed Science and Technology*. 2015;200:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2014.11.015>
30. Massuquetto A., Durau J. F., Schramm V. G., Netto M. T., Krabbe E. L., Maiorka A. Influence of feed form and conditioning time on pellet quality, performance and ileal nutrient digestibility in broilers. *Journal of Applied Poultry Research*. 2018;27(1):51-58. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr/pfx039>
31. Segerstrom M., Larsson S. H. Clarifying sub-processes in continuous ring die pelletizing through die temperature control. *Fuel Processing Technology*. 2014;123:122-126. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.02.008>
32. Abdollahi M. R., Ravindran V., Wester T. J., Ravindran G., Thomas D. V. Influence of conditioning temperature on performance, apparent metabolisable energy, ileal digestibility of starch and nitrogen and the quality of pellets, in broiler starters fed corn and sorghum-based diets. *Animal Feed Science and Technology*. 2010;162(3-4):106-115. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2010.08.017>
33. Kulig R., Laskowski J. Effect of conditioning parameters on pellet temperature and energy consumption in the process of plant material pressing. *Teka Komisji Motoryzacji i Energetyki Rolnictwa*. 2008;8a:105-111. URL: https://www.researchgate.net/publication/237283167_EFFECT_OF_CONDITIONING_PARAMETERS_ON_PELLET_TEMPERATURE_AND_ENERGY_CONSUMPTION_IN_THE_PROCESS_OF_PLANT_MATERIAL_PRESSING
34. Netto M. T., Massuquetto A., Krabbe E. L., Surek D., Oliveira S. G., Maiorka A. Effect of conditioning temperature on pellet quality, diet digestibility, and broiler performance. *Journal of Applied Poultry Research*. 2019;28(4):963-973. DOI: <https://doi.org/10.3382/japr/pfz056>
35. Dos Santos R. O. F., Bassi L. S., Schramm V. G., da Rocha C., Dahlke F., Krabbe E. L., Maiorka A. Effect of conditioning temperature and retention time on pellet quality, ileal digestibility, and growth performance of broiler chickens. *Livestock Science*. 2020;240:104110. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2020.104110>
36. Picchio R., Latterini F., Venanzi R., Stefanoni W., Suardi A., Tocci D., Pari L. Pellet production from woody and non-woody feedstocks: A review on biomass quality evaluation. *Energies*. 2020;13(11):2937. DOI: <https://doi.org/10.3390/en13112937>
37. Благов Д. А., Митрофанов С. В., Панферов Н. С., Тетерин В. С., Пестряков Е. В. Пресс-грануляторы, технические особенности, влияние гранулирования на качественные показатели корма. Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. 2020;(9):57-66. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-05-2009-06> EDN: IPINKL
- Blagov D. A., Mitrofanov S. V., Panferov N. S., Teterin V. S., Pestryakov E. V. Press granulators, technical features, influence of granulation on qualitative characteristics of feed. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2020;(9):57-66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-05-2009-06>
38. Agar D. A., Rudolfsson M., Kalen G., Campargue M., Perez D. D. S., Larsson S. H. A systematic study of ring-die pellet production from forest and agricultural biomass. *Fuel Processing Technology*. 2018;180:47-55. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2018.08.006>
39. Crawford N. C., Ray A. E., Yancey N. A., Nagle N. Evaluating the pelletization of “pure” and blended lignocellulosic biomass feedstocks. *Fuel Processing Technology*. 2015;140:46-56. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2015.08.023>
40. Whittaker C., Shield I. Factors affecting wood, energy grass and straw pellet durability – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2017;71:1-11. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.12.119>
41. Faborode M. O., O'Callaghan J. R. Theoretical analysis of the compression of fibrous agricultural materials. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 1986;35(3):175-191. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-8634\(86\)80055-5](https://doi.org/10.1016/S0021-8634(86)80055-5)
42. Mani S., Tabil L. G., Sokhansanj S. Evaluation of compaction equations applied to four biomass species. *Canadian Biosystems Engineering*. 2004;46(3):55-61. URL: <https://library.csbe-scgab.ca/docs/journal/46/c0404.pdf>
43. Alakangas E., Paju P. Wood pellets in Finland – technology, economy, and market. OPET Report 5. Jyväskylä: VTT Processes, 2002. 85 p. URL: https://cris.vtt.fi/ws/files/52184787/wood_pellet_in_finland_compress.pdf
44. Jackson J., Turner A., Mark T., Montross M. Densification of biomass using a pilot scale flat ring roller pellet mill. *Fuel Processing Technology*. 2016;148:43-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.02.024>
45. Nielsen N. P. K., Gardner D., Poulsen T., Felby C. Importance of temperature, moisture content, and species for the conversion process of wood residues into fuel pellets. *Wood and Fiber Science*. 2009;41(4):414-425. URL: <https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/469/469>

46. Кувшинов В. В., Муханов Н. В., Телегин И. А., Марченко С. А. Поведение системы «канал матрицы-спрессованные монолиты» в процессе их нагрева. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2020;(4):85-90. DOI: <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2020-33-4-85-90> EDN: QLBRYG
- Kuvshinov V. V., Mukhanov N. V., Telegin I. A., Marchenko S. A. Behavior of the "matrix channel -pressed monoliths" system during their heating. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolz'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2020;(4):85-90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35523/2307-5872-2020-33-4-85-90>
47. Serrano C., Monedero E., Lapuerta M., Portero H. Effect of moisture content, particle size and pine addition on quality parameters of barley straw pellets. *Fuel Processing Technology*. 2011;92(3):699-706. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2010.11.031>
48. Mostafa M. E., Hu S., Wang Y., Su S., Fu X., Elsayed S. A., Xiang J. The significance of pelletization operating conditions: An analysis of physical and mechanical characteristics as well as energy consumption of biomass pellets. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2019;105:332-348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.01.053>
49. Tumuluru J. S. Effect of process variables on the density and durability of the pellets made from high moisture corn stover. *Biosystems Engineering*. 2014;119:44-57. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.11.012>
50. Safran B., Radmanovic K., Jug M., Lucic Beljo R., Lojen T., Risovic S. Influence of pressing temperature and additive on mechanical properties of wood pellets. *Natural Resources, Green Technology & Sustainable Development*. 2018;3:141-148. URL: <https://www.sumins.hr/wp-content/uploads/2019/07/green3-proceedings.pdf>
51. Кошак Ж., Кошак А. Влияние состава комбикормов на удельную энергоёмкость процесса гранулирования. *Комбикорма*. 2012;(2):63-64. Режим доступа: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/2_12/02_2012_063-064.pdf EDN: OSKGTH
- Koshak Zh., Koshak A. Influence of feed composition on the specific energy intensity of the pelleting process. *Kombikorma*. 2012;(2):63-64. (In Russ.). URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/2_12/02_2012_063-064.pdf
52. Клименко А., Гуцева-Митропольская А. Качество гранул: проблемы и предложения по их решению. *Комбикорма*. 2016;(7-8):40-42. Режим доступа: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/7-8_16/07-08_2016_40-42.pdf EDN: WHHOUT
- Klimenko A., Gushcheva-Mitropolskaya A. Pellet quality: problems and solutions. *Kombikorma*. 2016;(7-8):40-42. (In Russ.). URL: https://kombi-korma.ru/sites/default/files/2/7-8_16/07-08_2016_40-42.pdf
53. Ivanov M. Feed pellet quality and productivity. *Borregaard LignoTech*, 2017. URL: <https://vk.cc/chs8F1>
54. Nielsen S. K., Mando M. Experimental and numerical investigation of die designs in biomass pelleting and the effect on layer formation in pellets. *Biosystems Engineering*. 2020;198:185-197. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.08.010>
55. Mediavilla I., Esteban L. S., Fernandez M. J. Optimisation of pelletisation conditions for poplar energy crop. *Fuel Processing Technology*. 2012;104:7-15. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.05.031>
56. Misljenovic N., Colovic R., Vukmirovic D., Brlek T., Bringas C. S. The effects of sugar beet molasses on wheat straw pelleting and pellet quality. A comparative study of pelleting by using a single pellet press and a pilot-scale pellet press. *Fuel Processing Technology*. 2016;144:220-229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2016.01.001>
57. Hu J., Lei T., Shen S., Zhang Q. Specific energy consumption regression and process parameters optimization in wet-briquetting of rice straws at normal temperature. *BioResources*. 2013;8(1):663-675. URL: <https://vk.cc/cjosiF>
58. Nielsen S. K., Mandø M., Rosenørn A. B. 1D Model for investigation of energy consumption and wear in die designs used for biomass pelleting. *European Biomass Conference and Exhibition Proceedings*. 2018;26:550-558. DOI: <https://doi.org/10.5071/26thEUBCE2018-2CO.13.1>
59. Wu K., Shi S. J., Wang Y. L., Peng B. B. FEA simulation of extruding feed through die hole in pelleting process. *Applied Mechanics and Materials*. 2011;109:350-354. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.109.350>
60. Януков Н., Волков А., Лукина Д., Прохорова Л., Брыгин В. Повышение эффективности работы матричного пресс-гранулятора. *Комбикорма*. 2020;(2):43-45. DOI: <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2020-02-2-093> EDN: OSMDAZ
- Yanukov N., Volkov A., Lukina D., Prokhorova L., Brygin V. Improving the efficiency of the die pelletizer. *Kombikorma*. 2020;(2):43-45. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25741/2413-287X-2020-02-2-093>
61. Thek G., Obernberger I. *The Pellet Handbook: The production and thermal utilization of biomass pellets*. London: Routledge, 2010. 592 p. DOI: <https://doi.org/10.4324/9781849775328>
62. Monedero E., Portero H., Lapuerta M. Pellet blends of poplar and pine sawdust: Effects of material composition, additive, moisture content and compression die on pellet quality. *Fuel Processing Technology*. 2015;132:15-23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2014.12.013>
63. Stelte W., Clemons C., Holm J. K., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B., Sanadi A. R. Fuel pellets from wheat straw: the effect of lignin glass transition and surface waxes on pelletizing properties. *Bioenergy Research*. 2012;5(2):450-458. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12155-011-9169-8>
64. Adapa P., Tabil L., Schoenau G., Opoku A. Pelleting characteristics of selected biomass with and without steam explosion pretreatment. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*. 2010;3(3):62-79. DOI: <https://doi.org/10.3965/j.issn.1934-6344.2010.03.062-079>
65. Theerarattananoon K., Xu F., Wilson J., Ballard R., Mckinney L., Staggenborg S., Vadlani P., Pei Z. J., Wang D. Physical properties of pellets made from sorghum stalk, corn stover, wheat straw, and big bluestem. *Industrial Crops and Products*. 2011;33(2):325-332. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2010.11.014>
66. Puig-Arnabat M., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. Validation of a multiparameter model to investigate torrefied biomass pelletization behavior. *Energy and Fuels*. 2017;31(2):1644-1649. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.6b02895>

67. Holm J. K., Stelte W., Posselt D., Ahrenfeldt J., Henriksen U. B. Optimization of a multiparameter model for biomass pelletization to investigate temperature dependence and to facilitate fast testing of pelletization behavior. *Energy and Fuels*. 2011;25(8):3706-3711. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef2005628>
68. Kaliyan N., Vance Morey R. Factors affecting strength and durability of densified biomass products. *Biomass and Bioenergy*. 2009;33(3):337-359. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2008.08.005>
69. Shuijuan S., Kai W., Binbin P., Shuanhu W., Yu S. Mechanical model and FEA of ring die of three-roller pellet mill. In: 2010 International Conference on Mechanic Automation and Control Engineering. IEEE, 2010. pp. 76-80. DOI: <https://doi.org/10.1109/MACE.2010.5535988>
70. Holm J. K., Henriksen U. B., Hustad J. E., Sorensen L. H. Toward an understanding of controlling parameters in softwood and hard-wood pellets production. *Energy and Fuels*. 2006;20(6):2686-2694. DOI: <https://doi.org/10.1021/ef0503360>
71. Xia X., Sun Y., Wu K., Jiang Q. Modeling of a straw ring-die briquetting process. *BioResources*. 2014;9(4):6316-6328. DOI: <https://doi.org/10.15376/biores.9.4.6316-6328>
72. Полищук В. Ю., Панов Е. И., Василевская С. П. Определение влияния на энергоёмкость гранулирования радиусов рабочих органов пресс-гранулятора. *Тракторы и сельхозмашины*. 2019;(6):86-92. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-6-86-92> EDN: MVYLAC
- Polishchuk V. Yu., Panov E. I., Vasilevskaya S. P. Determination of the effect on the energy intensity of granulation of the radii of the working bodies of the press granulator. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2019;(6):86-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2019-6-86-92>
73. Wu K., Shi S., Ding W., Peng B., Sun Y. Influence of die speed on the energy consumption in the pelleting process. 2010 International Conference on Computing, Control and Industrial Engineering. IEEE, 2010. pp. 247-250. DOI: <https://doi.org/10.1109/CCIE.2010.70>

Сведения об авторах

Брагинец Сергей Валерьевич, доктор 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: vnizk30@mail.ru; доцент кафедры «Проектирование и технический сервис транспортно-технологических систем», ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», пл. Гагарина, д. 1, г. Ростов-на-Дону, Российская Федерация, 344010, e-mail: spu-24@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, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Деев Константин Александрович, инженер отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской», ул. Ленина, д. 14, г. Зерноград, Ростовская область, Российская Федерация, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-4160-0382>

Information about the authors

Sergey V. Braginetz, DSc in Engineering, leading researcher, the Department of Plant Products Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, 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: spu-24@donstu.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7137-5692>

✉ **Oleg N. Bakhchevnikov**, PhD in Engineering, senior researcher, the Department of Plant Products Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-3362-5627>, e-mail: oleg-b@list.ru

Konstantin A. Deev, engineer, the Department of Plant Products Processing, Agricultural Research Centre Donskoy, 14 Lenin St., Zernograd, Rostov Region, Russian Federation, 347740, e-mail: vnizk30@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4160-0382>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57>
УДК 631.527:633.11«321»:632.4



Перспективный сорт пшеницы мягкой яровой Семеновна – результат международного сотрудничества

© 2023. И. А. Белан¹, Е. Н. Федоренко², Л. П. Россеева¹, М. Е. Мухордова¹✉, Е. Ю. Игнатьева¹

¹ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация,

²ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция», Северо-Казахстанская обл., с. Шагалалы, Республика Казахстан

*Исследование направлено на изучение хозяйственно ценных признаков и генетического контроля устойчивости к листовым болезням, фотопериодической реакции и короткостебельности сорта пшеницы мягкой яровой Семеновна, созданного учеными Омского аграрного научного центра (Россия) и Северо-Казахстанской сельскохозяйственной опытной станции (Казахстан). С использованием методов государственного сортоиспытания, молекулярно-генетических и *in vitro* описаны морфологические признаки нового сорта, особенности его развития, проанализирован уровень урожайности в разных экологических точках испытаний за три года (2015-2017). Исследования, проведенные в двух экологических точках, позволили отобрать среднеспелую перспективную линию пшеницы мягкой яровой (*Lutescens* 354/04-6), которая передана в Государственную регистрационную службу Республики Казахстан под названием Семеновна (патент № 1023). По показателям качества зерна она была на уровне ценной пшеницы, превосходила стандарт по содержанию белка на 1-2 % и сырой клейковины на 3-4 %. Новый среднеспелый сорт Семеновна сочетает повышенную урожайность (2,73-4,40 т/га) с устойчивостью к засухе (индекс устойчивости $I_r = 0,57$), бурой и стеблевой ржавчине ($I_U = 0,00-0,23$). Генотип сорта содержит пшенично-ржаную транслокацию 1RS.1BL (с кластером генов *Lr26/Sr31/Pm8/Yr9*). Среднестебельный сорт несет в своем генотипе аллель *Rht8b* (174 п.н.) и светочувствителен к продолжительности дня (аллель 414 п.н.). Определены параметры экологической пластичности нового сорта: коэффициент линейной регрессии ($b_i = 1,08$), показатель стабильности ($\sigma_i^2 = 0,27$).*

Ключевые слова: селекция, урожайность, качество, устойчивость к заболеваниям, засуха, ПЦР-анализ

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (тема № FNUN-2022-0026).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Белан И. А., Федоренко Е. Н., Россеева Л. П., Мухордова М. Е., Игнатьева Е. Ю. Перспективный сорт пшеницы мягкой яровой Семеновна – результат международного сотрудничества. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):46-57. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57>

Поступила: 20.10.2022

Принята к публикации: 19.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The perspective soft spring wheat variety Semenovna is the result of international cooperation

© 2023. Igor A. Belan¹, Elena N. Fedorenko², Ludmila P. Rosseeva¹, Maria E. Mukhordova✉, Elena Yu. Ignatieva¹

¹Omsk Agrarian Scientific Center, Omsk, Russian Federation,

²"North Kazakhstan Agricultural Experimental Station", North Kazakhstan region, Shagalaly village, Republic of Kazakhstan

*The research is aimed at studying economically valuable traits and genetic control of resistance to leaf-stem diseases, photoperiodic reaction and short stemming of soft spring wheat variety Semenovna, created by scientists of the Omsk Agrarian Scientific Center (Russia) and the North Kazakhstan Agricultural Experimental Station (Kazakhstan). Using methods of state variety testing, molecular genetics and *in vitro* methods, morphological features of a new variety, features of its development have been described, the yield level at different ecological test points for three years (2015-2017) has been analyzed. The studies conducted at two ecological points made it possible to select a medium-sized promising line of soft spring wheat (*Lutescens* 354/04-6), which was transferred to the State Registration Service of the Republic of Kazakhstan and after two years of testing was included into the State Register of the Republic of Kazakhstan under the name Semenovna (patent No. 1023). In terms of grain quality, it was at the level of valuable wheat, exceeded the standard in protein content by 1-2 % and raw gluten by 3-4 %. The new medium-ripe Semenovna variety combines increased yield (2.73-4.40 t/ha) with resistance to drought (resistance index $I_r = 0.57$), brown and stem rust ($I_U = 0.00-0.23$). The genotype of the variety contains wheat-rye translocation 1RS.1BL (with a cluster of *Lr26/Sr31/Pm8/Yr9* genes). The medium-stem variety carries the *Rht8b* allele in its genotype (174 bp).*

and is photosensitive to the length of the day (allele 414 bp). The parameters of ecological plasticity of the new variety are determined: linear regression coefficient ($b_i = 1.08$), stability index ($\sigma^2 = 0.27$).

Keywords: breeding, yield, quality, disease resistance, drought, PCR analysis

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 Omsk Agrarian Scientific Center (theme No. FNUN-2022-0026).

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

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

For citations: Belan I. A., Fedorenko E. N., Rosseeva L. P., Muhordova M. E., Ignatieva E. Yu. The perspective soft spring wheat variety Semenovna is the result of international cooperation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):46-57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.46-57>

Received: 20.10.2022

Accepted for publication: 19.01.2023

Published online: 27.02.2023

Общемировые посевы пшеницы достигают 215-230 млн га, в России – 23-25 млн га, в Казахстане – только пшеницы мягкой яровой свыше 11 млн га¹. Её широкое распространение обусловлено высокой пластичностью, урожайностью, а также ценными питательными свойствами продуктов переработки зерна, их хорошей усвояемостью. Основные регионы возделывания пшеницы мягкой яровой в России – Поволжье, Урал, Западная и Восточная Сибирь, в Казахстане – Акмолинская, Костанайская, Павлодарская и Северо-Казахстанская области.

Сортовые ресурсы пшеницы мягкой яровой существенно пополняются благодаря успехам селекционеров России и Казахстана. Более 40 лет в северных областях Казахстана возделываются сорта лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» (ФГБНУ «Омский АНЦ»). Площадь посева под этими сортами в 2012 г. составляла свыше 3,9 млн га, в 2021 г. – 2,9 млн га. (28 % общей площади посева в этих областях). Максимальную площадь посева занимает среднеранний сорт Омская 36 (1 475 019 га). Более 100 тыс. га занимают сорта Памяти Азиева (139682 га), Омская 35 (168 947 га), Омская 38 (182 689 га), Боевчанка (186 864 га), Уралосибирская 2 (199 533 га) и Омская 18 (275 086 га) [1].

Особую актуальность для зон возделывания пшеницы мягкой яровой в Западной Сибири и Северном Казахстане имеют сорта с высоким потенциалом продуктивности, устойчивые к грибным патогенам, полеганию, с повышенной засухоустойчивостью и более коротким вегетационным периодом [2]. В связи с этим перед селекционерами стоит традиционная задача создания сортов, обладающих

устойчивостью к неблагоприятным биотическим и абиотическим факторам среды [3, 4, 5].

Цель исследований – оценка сорта пшеницы мягкой яровой Семеновна, созданного в результате международного сотрудничества, по основным хозяйственно ценным признакам и устойчивости к стрессовым факторам среды в разных экологических пунктах испытаний.

Научная новизна заключается в создании нового среднеспелого сорта Семеновна для почвенно-климатических условий Западно-Сибирского региона России и Республики Казахстан, обладающего повышенной продуктивностью и улучшенными показателями качества зерна, сочетающего урожайность с устойчивостью к засухе, бурой и стеблевой ржавчинам, представляющего интерес как для сельхозтоваропроизводителей, так и селекционеров в качестве генисточника устойчивости к листовостебельным заболеваниям, среднестебельности и фоточувствительности к длине дня.

Материал и методы. Изучение селекционной линии Лютесценс 354/04-6 (сорт Семеновна) в течение трех лет (2015-2017 гг.) проводили в питомниках конкурсного испытания (КСИ) в ФГБНУ «Омский АНЦ» и предварительного сортоиспытания (ПСИ) в ТОО «Северо-Казахстанская сельскохозяйственная опытная станция» (ТОО «СК СХОС») по Методике государственного сортоиспытания².

Опытные поля ФГБНУ «Омский АНЦ» находятся в южной лесостепи Омской области, климат которой обеспечивает благоприятный по теплообеспеченности вегетационный период продолжительностью от 125 до 130 суток, в большинстве лет недостаточный по увлажнению (в среднем 206 мм осадков). Количество лет с засухой составляет около 30 %.

¹Страны лидеры в мире по производству и экспорту пшеницы. [Электронный ресурс].

URL: <https://tyulyagin.ru/ratings/strany-lidery-v-mire-po-proizvodstvu-i-eksportu-pshenicy.html> (дата обращения: 21.09.2022).

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 2019. 329 с.

Почва опытного участка лугово-черноземная среднемошная среднегумусовая тяжелосуглинистая, $pH_{\text{сол}} - 6,5$. Содержание в слое 0-40 см: нитратного азота – 12,5 мг/кг почвы, подвижного фосфора – 135 мг/кг почвы.

Поля ТОО «СК СХОС» расположены в степной зоне Северо-Казахстанской области. Климат зоны засушливый, среднеобеспеченный теплом. За вегетационный период продолжительностью 136-137 суток количество осадков в среднем составляет 192 мм. Почва опытного участка – обыкновенный карбонатный тяжелосуглинистый чернозем с нейтральной и слабощелочной реакцией ($pH_{\text{водн.}} - 7,8-8,1$), содержание гумуса 4,5-5,0 %, нитратного азота (по методу Грандваль-Ляжу) в слое 0-40 см – 16,6 мг/кг почвы, подвижного фосфора (по методу Б. П. Мачигина) в слое 0-20 см – 10,0 мг/кг почвы.

Питомники КСИ лаборатории селекции яровой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ» закладывали по паровому полю (12-15 мая) сеялкой ССФК-7 М, норма высева 5,5 млн всхожих семян на гектар, повторность 4-кратная. При уборке урожая использовали малогабаритный комбайн «ХЕГЕ-125». Стандартами служили два сорта – среднеранний Памяти Азиева и среднеспелый Дуэт.

Посев питомника ПСИ в ТОО «СК СХОС» проводили 25-27 мая сеялкой СЗС-2,1. Норма высева 3,5 млн всхожих семян на гектар, повторность 3-кратная, площадь учетных делянок 50 м² (2 x 25 м). Уборку осуществляли раздельным комбайнированием «Сампо-500». Новые линии ячменя сравнивали с двумя сортами-стандартами – среднеранним Астана и среднепоздним Омская 35.

Учеты листостебельных патогенов проводили как в полевых условиях в динамике (5-7 раз через 6-8 суток с начала проявления заболеваний до восковой спелости), так и в лабораторных при выращивании растений в вегетационно-климатических шкафах «Биотрон 4» и «Биотрон 8». Для сортообразцов,

задерживающих развитие патогенов, рассчитывали площадь под кривой развития заболеваний (ПКРБ) и индекс устойчивости (ИУ)³. Оценка экологической пластичности нового сорта дана по методике В. А. Зыкина и др.⁴.

Оценку сортов на устойчивость к засухе проводили в полевых и лабораторных условиях. В лабораторных условиях была использована модифицированная методика тестирования пшеницы *in vitro*, по которой проявление побегообразования у эксплантов из зрелых зародышей служит показателем устойчивости растений к неблагоприятным абиотическим факторам⁵. Культура *in vitro* автономных зародышей служит модельной системой для исследования стрессустойчивости растений к абиотическим факторам [6].

Из показателей качества зерна определяли натуру, стекловидность, содержание белка и клейковины. Хлебопекарная оценка проведена по методике, рекомендованной Госкомиссией РФ⁶.

Для идентификации генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам, аллелей генов фотопериода и короткостебельности использовали методы молекулярной генетики. Пробоподготовку образцов осуществляли с помощью гомогенизатора TissueLyser LT. Геномную ДНК выделяли из 3-дневных проростков зерен пшеницы с помощью готового набора реактивов «ФитоСорб» (ООО «Синтол», Россия). Полимеразная цепная реакция была проведена с использованием праймеров к генам Ppd-D1, Rht8 [7, 8]. Скрининг генов устойчивости к бурой и стеблевой ржавчинам провели с использованием праймеров к маркерам генов Lr19, Lr26, Sr25 и Sr31 [9].

В таблице 1 приведены праймеры, используемые в наших исследованиях.

Для проведения ПЦР-анализа использовали набор БиоМастер HS-Тaq ПЦР-Color (2x) объемом 50 мкл. Амплификацию осуществляли в термоциклере T100 (Bio-Rad, США).

³Коваленко Е. Д., Коломиец Т. М., Киселева М. И., Жемчужина А. И., Смирнова Л. А., Щербик А. А. Методы оценки и отбора исходного материала при создании сортов пшеницы устойчивых к бурой ржавчине: методические рекомендации ВНИИФ. М., 2012. 93 с.

⁴Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Недорезков В. Д., Исмагилов Р. Р., Кадиков Р. К., Исламгулов Д. Р. Методика расчета и оценки параметров экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Башкирский государственный аграрный университет. Сибирский НИИ сельского хозяйства. Уфа, 2005. 99 с.

⁵Россеев В. М., Юсова О. А., Белан И. А. Источники засухоустойчивости пшеницы мягкой яровой, обеспечивающие повышение результативности селекционного процесса: методические указания. Омск, 2017. 20 с.

⁶Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур: технологическая оценка зерновых, крупяных и зернобобовых культур. М., 1988. 121 с.

*Таблица 1 – Нуклеотидная последовательность и температура отжига праймеров /
Table 1 – Nucleotide sequence and annealing temperature of primers*

<i>Ген / Gene</i>	<i>Праймер / Primer</i>	<i>Последовательность / Sequence</i>	<i>Температура отжига, °C / Annealing temperature</i>
Ppd-D1	Ppd-D1.F Ppd-D1.R1 Ppd-D1.R2	5' – ACGCCTCCCACTACACTG-3' 5' – GTTGGTTCAAACAGAGAGC-3' 5' – CACTGGTGGTAGCTGAGATT-3'	60
Rht8	WMS 261-F WMS 261-R	5' – CTCCTGTACGCCTAAGGC-3' 5' – CTCGCGCTACTAGCCATTG-3'	60
Lr19	SCS265F SCS265R	5' – GCGGATAAGCAGAGCAGAG-3' 5' – GCGGATAAGTGGGTTATGG-3'	64
Lr26	SecA2 SecA3	5' – GTTTGCTGGGGAATTATTTG-3' 5' – TCCTCATCTTTGTCCTCGCC-3'	64
Sr25	Xwmc221F Xwmc221R	5' – ACGATAATGCAGCGGGGAAT-3' 5' – GCTGGGATCAAGGGATCAAT-3'	60
Sr31	SCSS30.2 F SCSS30.2 R	5' – GTCCGACAATACGAACGATT-3' 5' – CCGACAATACGAACGCCTTG-3'	60

Аmplифицированные фрагменты ДНК фракционировали методом горизонтального электрофореза в 1,5%-ном агарозном геле в 1×TBE буфере в течение 60 минут при напряжении 130В. Гель окрашивали с помощью интеркалирующего агента *Ethidium bromide*. Результаты детектированы в системе геледокументации *GelDoc XR+* с помощью ПО *Bio-Rad Image Lab5.1*.

Для характеристики агрометеорологических условий за 2015-2017 гг. использовали материалы наблюдений ГМС Омска по южной лесостепи Омской области (III зона) и метеопоста Шагалалы по степи Северо-Казахстанской области. По значениям ГТК⁷ оценивали влагообеспеченность территории.

Статистическую обработку данных проводили по методике Б. А. Доспехова⁸ (описательная статистика, дисперсионный анализ) с применением пакета статистических программ (MS Excel).

Результаты и их обсуждение. Метеорологические условия в годы исследований (2015-2017 гг.) по температуре воздуха и количеству осадков в течение вегетационного периода ежегодно существенно отличались от климатической нормы на территории ФГБНУ «Омский АНЦ» и ТОО «СК СХОС».

В обоих пунктах особенно неблагоприятным по количеству осадков сложился 2017 г.

(68 % от нормы). Такие условия не были оптимальными для эпифитотий листостебельных патогенов, однако массовому развитию этих заболеваний способствовало наличие росы на листьях [10, 11].

Анализ данных ГТК в обоих пунктах показал, что вегетационный период 2015 г. можно отнести к оптимальному по увлажнению (ГТК = 1,15), 2016 г. – слабозасушливому (ГТК = 1,00), 2017 г. – засушливому (ГТК = 0,70). Разнообразные погодные условия позволяют селекционерам проводить отборы селекционных линий с более высоким уровнем устойчивости к стрессовым факторам внешней среды.

Безусловно, на формирование урожая оказывают влияние не только осадки и температура, но и биологические факторы. Начиная с 2015 г., в Западной Сибири и Казахстане отмечены эпифитотии листостебельных патогенов, поэтому сорта, обладающие устойчивостью к этим заболеваниям, играют важную роль в уменьшении потерь урожая.

Родословная сорта пшеницы мягкой яровой Семеновна: Уралосибирская / Омская 37. После проведенных скрещиваний двух среднепоздних сортов в гибридных популяциях F₃ и F₄ была отобрана селекционная линия Лютесценс 354/04-6, которая изучалась в последовательных селекционных питомниках.

⁷Гидротермический коэффициент увлажнения Селянинова (ГТК). [Электронный ресурс]. URL: <https://www.agrometeo.online/> (дата обращения: 29.09.2022).

⁸Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 352 с.

В 2013 и 2014 гг. эта линия испытывалась в питомнике КСИ лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ «Омский АНЦ» в среднеранней группе спелости, где стандартом служил сорт Памяти Азиева. За годы изучения линия Лютесценс 354/04-6 по урожайности в 2013 г. превысила стандарт на 0,67 т/га, в 2014 г. – на 0,50 т/га, проявила средний уровень устойчивости к мучнистой росе и не поражалась бурой ржавчиной. На полях яровой мягкой пшеницы в эти годы не наблюдалось массового развития стеблевой ржавчины, поэтому оценку к этому заболеванию проводили в лабораторных условиях в фазе проростков. Оценка показала, что стандарт Дуэт был восприимчивым к этому патогену (балл поражения 4), а селекционная линия Лютесценс 354/04-6 проявила высокую устойчивость (балл поражения 0-1).

По показателям качества зерна линия в эти годы находилась на уровне ценной пшеницы, однако превосходила стандарт Памяти Азиева по содержанию белка на 1-2 % и сырой клейковины на 3-4 %.

В 2015 г. селекционную линию Лютесценс 354/04-6 передали в ФГБНУ «Омский АНЦ» из ТОО «СК СХОС» для испытания в питомнике КСИ лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы.

В таблице 2 представлены данные в среднем за три года (2015-2017 гг.) по урожайности и продолжительности вегетационного периода при изучении сорта Семеновна на опытных полях лаборатории селекции яровой мягкой пшеницы ФГБНУ Омский «АНЦ» и ТОО «Северо-Казахстанская СХОС».

Таблица 2 – Урожайность и продолжительность вегетационного периода сорта пшеницы мягкой яровой Семеновна в экологических пунктах испытаний (2015-2017 гг.) / Table 2 – Yield and length of the vegetation period of the soft spring wheat Semenovna in environmental testing points (2015-2017)

Сорт / Variety	Урожайность, т/га / Yield, t/ha		CV, %	Вегетационный период, сутки / Vegetation period, day		CV, %
	\bar{x}	min÷max		\bar{x}	min÷max	
Омский АНЦ / Omsk Agrarian Scientific Center						
Памяти Азиева, ст. / Pamyati Azieva, st.	2,66	1,90÷3,91	41,0	87	83÷91	4,7
Дуэт, ст. / Duet, st.	2,56	1,67÷3,89	45,7	92	89÷96	3,9
Семеновна / Semenovna	4,40	3,52÷6,02	31,9	90	87÷94	4,2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,40	-	-	1,9	-	-
Северо-Казахстанская СХОС / North Kazakhstan Agricultural Experimental Station						
Астана, ст. / Astana, st.	2,12	1,8÷2,41	14,4	79	73÷85	7,7
Омская 35, ст. / Omskaya 35, st.	2,24	1,92÷2,59	15,0	84	79÷93	9,3
Семеновна / Semenovna	2,73	2,56÷2,86	5,6	80	76÷85	5,9
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,37	-	-	2,3	-	-

Данные таблицы 2 показывают, что на опытном поле ФГБНУ «Омский АНЦ» при средней урожайности 4,40 т/га сорт Семеновна превосходил сорта-стандарты Памяти Азиева и Дуэт на 1,74 и 1,84 т/га соответственно. По продолжительности вегетационного периода (90 суток) новый сорт превысил среднеранний стандарт Памяти Азиева на 3 суток, но созрел на 2 суток раньше среднеспелого стандарта Дуэт. На опытных полях ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» средняя урожайность пшеницы сорта Семеновна составила 2,73 т/га, что на

0,61 т/га выше среднераннего стандарта Астана и на 0,49 т/га – среднепозднего стандарта Омская 35. По продолжительности вегетационного периода (80 суток) сорт Семеновна лишь на сутки превысил стандарт Астана, но был более скороспелым (на 4 суток) по отношению к стандарту Омская 35. Безусловно, такие результаты нового сорта по урожайности связаны с более высоким уровнем устойчивости к неблагоприятным абиотическим и биотическим факторам среды и экологической пластичностью.

Одним из лимитирующих факторов как в областях Северного Казахстана, так и на юге Западной Сибири является засуха [12]. Возделывание сортов с повышенной засухоустойчивостью – один из резервов стабильной урожайности. По данным тестирования пшеницы *in vitro*, сорт Семеновна характеризуется повышенной устойчивостью к засухе, индекс устойчивости (I_r) равен 0,57, Дуэт и Астана – средней засухоустойчивостью ($I_r = 0,48$ и $0,50$ соответственно)⁹. К наиболее засушливому году относится 2017 г. По данным метеостанций в районе Омска и Шагалалы, недобор осадков в июне составил соответственно 19,4 и 12,3 мм, августе – 40,4 и 38,9 мм при температуре воздуха выше многолетних значений (в июне – на 2,1 и 0,7 °С, августе – на 1,3 и 2,4 °С). В этих условиях новый сорт Семеновна по урожай-

ности превысил стандарт Дуэт на 2,13 т/га и стандарт Астана – на 0,36 т/га. Таким образом, сорт Семеновна обладает устойчивостью к засухе в полевых условиях независимо от пункта возделывания, т. е. подтверждает данные оценки модифицированной методики тестирования пшеницы *in vitro*.

Молекулярно-генетический анализ пула образцов показал, что комплекс генов Lr19/Sr25 в изучаемом наборе сортов отсутствует. Комплекс генов Lr26/Sr31 обнаружен в новом сорте Семеновна, что указывает на присутствие пшенично-ржаной транслокации 1RS.1BL (рис. 1). Помимо устойчивости к грибным патогенам, наличие хромосомы 1RS повышает адаптивность к условиям внешней среды, увеличивает биомассу и урожайность [13, 14].

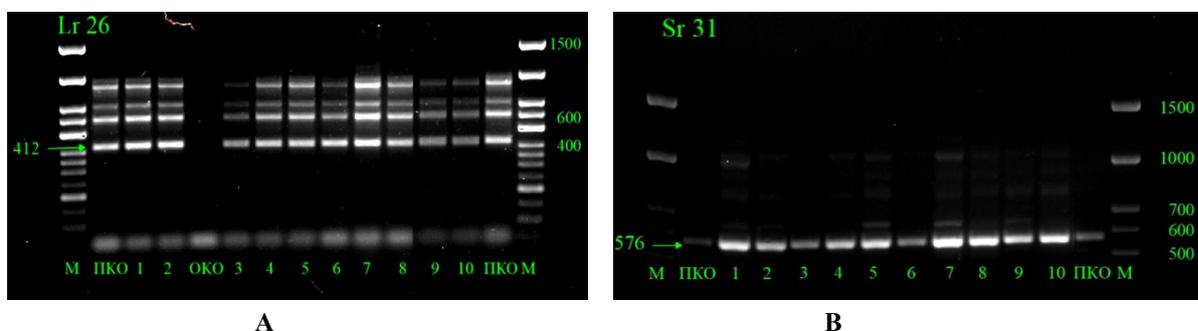


Рис. 1. Определение гена Lr26 (А) у сортообразцов яровой мягкой пшеницы с маркерами SecA2 и SecA3 и гена Sr31 (В) – с маркерами SCSS30.2 F и SCSS30.2 R. М – маркер молекулярного веса. 1. Омская 45. 2. Омская крепость. 3. Омская 44. 4. Семеновна. 5. Тарская юбилейная. 6. Омская 43. 7. Лютеценс 46/20-17. 8. Лютеценс 71/10-4. 9. Лютеценс 275/11-2-5. 10. Лютеценс 268/11-5. ОКО – отрицательный контроль. ПКО – положительный контроль /

Fig. 1. Determination of the Lr26 (A) gene in spring wheat varieties with SecA2 and SecA3 markers and the Sr31 (B) gene in spring wheat varieties with SCSS30.2 F and SCSS30.2 R markers. M – marker of molecular weight. 1. Omskaya 45. 2. Omskaya krepост. 3. Omskaya 44. 4. Semenovna. 5. Tarskaya yubilejnaya. 6. Omskaya 43. 7. Lutescens 46/20-17. 8. Lutescens 71/10-4. 9. Lutescens 275/11-2-5. 10. Lutescens 268/11-5. NC – negative control. PC – positive control

На рисунке 2 представлена идентификация сорта Семеновна по аллелям генов фотопериода и короткостебельности. Выявлено, что данный сорт является фоточувствительным к длине дня, на что указывает аллель 414 п.н., а аллель Rht8b (174 п.н.), который несет в своем генотипе данный сорт, определяет его как среднестебельный.

Проведенный дисперсионный анализ выявил преимущественное влияние на изменчивость урожайности яровой мягкой пшеницы фактора «сорт» – 53,4 %, доля влияния фактора «пункт изучения» составила 31,3 %. Продолжительность вегетационного периода лишь на 18,2 % зависела от сорта и определялась на 80,1 % месторасположением пункта сортоизучения.

Такие данные связаны не только с погодными условиями, но и эпифитотийным развитием стеблевой ржавчины, так как потери урожайности при массовом развитии патогена могут достигать 50 %. Сорт Семеновна задерживал развитие патогена как бурой, так и стеблевой ржавчины. На полях Омского «АНЦ» три года изучения 2015-2017 гг. характеризовались массовыми эпифитотиями ржавчинных заболеваний. Сорта-стандарты Памяти Азиева и Дуэт были восприимчивы к стеблевой ржавчине (ИУ = 0,90-1,00). Сорт Дуэт характеризовался высокой устойчивостью к бурой ржавчине (ИУ = 0,00-0,31). Новый сорт Семеновна проявлял высокую устойчивость как к бурой, так и стеблевой ржавчинам (ИУ = 0,00-0,23).

⁹Росеев В. М., Белан И. А., Россеева Л. П. Использование метода *in vitro* в селекции пшеницы мягкой яровой. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2016;(2 (136)):5-9.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25714727> EDN: VQSPJP

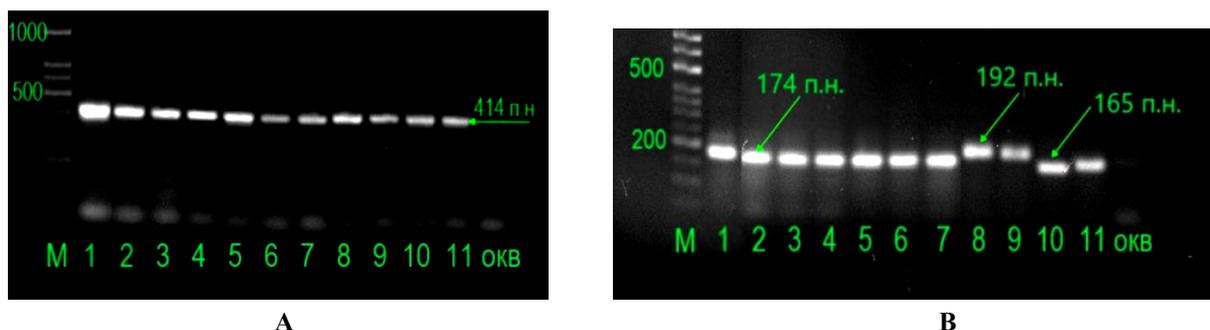


Рис. 2. Определение аллелей гена Ppd-D1 (А) у сортообразцов яровой мягкой пшеницы с маркерами Ppd-D1_F/Ppd-D1_R1/Ppd-D1_R2 и гена Rht8 (В) у сортообразцов яровой мягкой пшеницы с маркерами WMS261-F/WMS261-R. М – маркер молекулярного веса. 1. Омская 45. 2. Омская крепость. 3. Омская 44. 4. Семеновна. 5. Тарская юбилейная. 6. Омская 43. 7. Лютеценс 46/20-17. 8. Лютеценс 71/10-4. 9. Лютеценс 275/11-2-5. 10. Лютеценс 268/11-5. 11. Омская 37. ОКВ – отрицательный контроль /

Fig. 2. Determination of alleles of the PpdD1 (A) gene in spring wheat varieties with markers Ppd-D1_F/Ppd-D1_R1/Ppd-D1_R2 and Rht8 (B) gene in spring wheat varieties with markers WMS261-F/WMS261-R. M – marker of molecular weight. 1. Omskaya 45. 2. Omskaya krepost. 3. Omskaya 44. 4. Semenovna. 5. Tarskaya yubilejnaya. 6. Omskaya 43. 7. Lutescens 46/20-17. 8. Lutescens 71/10-4. 9. Lutescens 275/11-2-5. 10. Lutescens 268/11-5. 11. Omskaya 37. NC – negative control

На полях ТОО «СК СХОС» только в 2015 г. наблюдали массовое развитие бурой ржавчины (восприимчивый сорт Астана поразился на 80 %, сорт Семеновна – 50 % MR), в 2016 и 2017 гг. поражение стандартов не превышало 40 %, новый сорт проявлял высокий уровень устойчивости к этому патогену. Эпифитотийного развития стеблевой ржавчины за годы изучения не отмечено. Восприимчивые сорта имели слабое поражение (5 % MS), а сорт Семеновна не поражался этим патогеном.

Таким образом, новый сорт пшеницы Семеновна, независимо от года и пункта изучения, проявил высокую устойчивость к засухе, бурой и стеблевой ржавчинам.

В таблице 3 приведены данные по элементам продуктивности и качеству зерна сорта Семеновна в сравнении со стандартами при изучении на полях КСИ ФГБНУ «Омский АНЦ» и ПСИ ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» в среднем за три года 2015-2017 гг.

Таблица 3 – Элементы продуктивности и качественные показатели зерна пшеницы мягкой яровой сорта Семеновна (в среднем за 2015-2017 гг.) /

Table 3 – Elements of productivity and quality indices of wheat grain of Semenovna soft spring variety (on average for 2015-2017)

Признак / Trait	Северо-Казахстанская СХОС / North Kazakhstan Agricultural Experimental Station			Омский «АНЦ» / Omsk Agrarian Scientific Center		
	Семеновна / Semenovna	Астана, см. / Astana, st.	± стан- дарт / ± standard	Семеновна / Semenovna	Дуэт, см. / Duet, st.	± стан- дарт / ± standard
Высота растений, см / Plant height, cm	89	91	-2	111	100	11
Продуктивная кустистость, шт. / Productive tilling capacity, pieces	2	2	0	2,1	2,1	0
Длина колоса, см / Ear length, cm	7,8	7,9	-0,1	8,7	8,1	0,6
Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pieces	31	30	1	35	36	-1
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	37,4*	29,5	7,9	40,1*	29,5	10,6
Нагура, г/л / Grain-unit, g/l	781	761	20	740	731	9
Содержание клейковины, % / Gluten amount, %	28,4	27,6	0,8	33,4	28,5	4,9
Сырого протеина, % / Crude protein, %	14,9	13,9	1,0	15,9	14,6	1,3
Общая хлебопекарная оценка, балл / General bakery assessment, points	4,5	4,5	0	4,3	4,2	0,1

* Достоверно при $p < 0,05$ / Significantly at $p < 0,05$

Данные таблицы 3 показывают, что сорт Семеновна при испытании в питомнике предварительного сортоиспытания ТОО «СК СХОС» в среднем по высоте растений был на 2 см меньше стандарта Астана, но превосходил на 1 шт. по числу зерен в колосе и на 7,9 г по массе 1000 зерен. По показателям качества зерна характеризовался более высокой натурой (на 20 г/л), содержанием клейковины (на 0,8 %) и сырого протеина (на 1,0 %). В питомнике конкурсного сортоиспытания ФГБНУ «Омский АНЦ» новый сорт по высоте растений на 11 см превосходил стандарт Дуэт, на 0,6 см имел более длинный колос. Однако, имея на 1 шт. меньше зерен в колосе, превысил стандарт по массе 1000 зерен на 10,6 г. Безусловно, такие результаты связаны с тем, что в эти годы наблюдалось массовое развитие патогена стеблевой ржавчины, а сорт-стандарт Дуэт восприимчив к этому заболеванию. По содержанию клейковины и сырого протеина сорт Семеновна превзошел стандарт на 4,9 и 1,3 %, соответственно. При сравнении данных по элементам продуктивности в разных точках испытаний выявлено, что при возделывании в условиях южной лесостепи Омской области новый сорт отличался более длинным колосом (на 0,9 см), высотой растения (на 22 см), большим числом зерен в колосе (на 4 шт.), по продуктивной кустистости существенных различий не отмечено. По показателям качества зерна преимущество наблюдали по массе 1000 зерен (на 2,7 г), содержанию сырого протеина (на 1,8 %) и клейковины (на 5 %). Однако при испытании в степных условиях Северо-Казахстанской области сорт характеризовался лучшими показателями «натура зерна» (преимущество составило 41 г/л) и «общая хлебопекарная оценка» (на 0,2 балла выше). В полевых и лабораторных условиях сорт обладал высокой устойчивостью к бурой и стеблевой ржавчинам при испытании в обоих пунктах.

Экологическая оценка сортов яровой мягкой пшеницы в различных условиях выращивания позволяет объективно изучить и охарактеризовать тот или иной генотип, выявить его пластичность и стабильность. Наибольший интерес представляют сорта, формирующие урожайность от средней до высокой, с коэффициентом регрессии (b_i) на уровне или выше 1, стабильностью (σ_d^2), близкой к 0, что свидетельствует о соответствии урожайности сортов

изменению условий среды. Параметры экологической пластичности сортов пшеницы мягкой яровой рассчитаны за период 2015-2017 гг. По новому сорту Семеновна коэффициент линейной регрессии (b_i) составил 1,08, показатель стабильности (σ_d^2) – 0,27. Новый сорт с коэффициентом регрессии ($b_i > 1$), характеризуется высокой отзывчивостью на улучшение условий и высоким гомеостазом при попадании в неблагоприятные условия. При этом сорт-стандарт Дуэт имел параметры $b_i = 0,89$, $\sigma_d^2 = 0,35$, сорт Астана – $b_i = 1,02$, $\sigma_d^2 = 0,41$.

Сорт пшеницы мягкой яровой Семеновна в 2018 г. был передан ТОО «СК СХОС» на ГСИ. Испытание нового сорта пшеницы на сортоучастках Северо-Казахстанской области подтвердило его преимущество над стандартом (табл. 4). На Есильском сортоучастке достоверная прибавка урожайности за период испытания по предшественнику «пар» составила 0,76-0,89 т/га, по зерновому предшественнику 0,20-0,83 т/га. На Шалакынском сортоучастке в 2019 году урожайность по пару составила 2,30 т/га (+0,11 т/га), в 2020 году – 3,15 т/га (+0,35 т/га), по стерне соответственно 1,51 т/га (+0,21 т/га), 2,41 т/га (+0,23 т/га). На Сергеевском сортоучастке положительный результат получен в 2020 году, прибавка урожая по пару составила +0,60 т/га, по пшенице – +0,34 т/га.

По результатам испытаний сорт Семеновна в 2021 г. включен в Госреестр Республики Казахстан. Патентообладатели: ТОО «СК СХОС» – 50 % и ФГБНУ «Омский АНЦ» – 50 %. Сорт среднеспелый (вегетационный период 80-85 суток), разновидность *Lutescens*, относится к степной агроэкологической группе, имеет полупрямостоячий, 25-45° тип куста, относится к степной агроэкологической группе, имеет полупрямостоячий, 25-45° тип куста. Колос неопушенный, безостый, пирамидальный, средней плотности 18-24 колосков, имеет короткие ости на верхушке колоса. Зерновка средняя, яйцевидной формы, красная. Высота растения 80 см. Средняя урожайность за годы конкурсного сортоиспытания составила 2,77 т/га, масса 1000 зерен – 37,4 г. Содержание в зерне протеина 14,86 %, сырой клейковины – 28,4 %, общая хлебопекарная оценка – 4,5 балла. Сорт засухоустойчив, способен выдерживать длительное отсутствие осадков и высокие температуры, устойчив к ржавчинным заболеваниям

и полеганию. Агротехника возделывания общепринятая для зон выращивания яровой мягкой пшеницы с обязательным протравливанием семян перед посевом. Норма высева 3,5 млн

всхожих зерен на гектар. В Северном Казахстане лучшие сроки сева 15-25 мая. Сорт высокоотзывчив на хороший агротехнический фон, удобрения и хорошее увлажнение.

Таблица 4 – Урожайность зерна нового сорта пшеницы мягкой яровой Семёновна по результатам государственного испытания в Северо-Казахстанской области, т/га /

Table 4 – Grain yield of the new soft spring wheat variety Semenovna according to the results of the State testing in the North Kazakhstan region, t/ha

<i>Сортоучасток / Varietal plot</i>	<i>Год / Year</i>	<i>Семёновна / Semenovna</i>	<i>Омская 38, стандарт / Omskaya 38, standard</i>	<i>± стандарт / standard</i>
Предшественник – пар / Predecessor – fallow				
Есильский ГСУ / Esil'skij GSU	2019	4,53	3,64	+0,89
	2020	4,36	3,60	+0,76
Шалакынский ГСУ / Shalakynskij GSU	2019	2,30	2,19	+0,11
	2020	3,15	2,80	+0,35
Сергеевский ГСУ / Sergeevskij GSU	2019	1,72	2,06	-0,34
	2020	3,50	2,90	+0,60
Стандартная ошибка / Standard error	-	0,45	0,27	-
Предшественник – пшеница / Predecessor – wheat				
Есильский ГСУ / Esil'skij GSU	2019	3,20	3,00	+0,20
	2020	3,14	2,31	+0,83
Шалакынский ГСУ / Shalakynckij GSU	2019	1,51	1,30	+0,21
	2020	2,41	2,24	+0,17
Сергеевский ГСУ / Sergeevskij GSU	2019	1,40	1,43	-0,03
	2020	2,68	2,34	+0,34
Стандартная ошибка / Standard error	-	0,32	0,26	-

В Северо-Казахстанской СХОС, начиная с 2020 года, по новому сорту развернуто первичное семеноводство. Площадь питомников первичного семеноводства пшеницы Семёновна за 2020-2021 годы работы составила 87,5 га. Полученный валовой сбор зерна за прошедший период в 2020 году составил 22,1 т, в 2021 году – 187,5 т, в целом за 2 года – 209,6 т. Урожайность в течение двух лет была высокой 2,33-2,67 т/га, несмотря на то, что оба года были засушливыми. За два года в питомниках первичного семеноводства получено 146,8 т кондиционных семян. Семена питомника (ОС) ПР-3 переданы производству для выращивания суперэлиты. Реализация семян сельхозтоваропроизводителям области планируется в 2023-2024 гг.

Выводы. Сорт пшеницы мягкой яровой Семёновна в 2021 г. включен в Госреестр Республики Казахстан. Патентообладатели: ТОО «Северо-Казахстанская СХОС» – 50 % и

ФГБНУ «Омский аграрный научный центр» – 50 %. Новый сорт создан путем скрещивания двух сортов среднепоздней группы спелости, сильного качества зерна Уралосибирская и Омская 37, с последующим индивидуальным отбором.

Новый сорт относится к среднеспелой группе спелости, формирует неопушенный, безостый, пирамидальный, средней плотности белой окраски колос. Зерновка средняя, яйцевидной формы, красная, разновидность *Lutescens*.

Сорт Семёновна сочетает повышенную урожайность с устойчивостью к засухе (индекс устойчивости $I_r = 0,57$) и листостебельным патогенам. Генотип сорта содержит пшенично-ржаную *IRS.1BL* транслокацию (с кластером генов *Lr26/Sr31/Pm8/Yr9*). Сорт среднестебельный несет в своем генотипе аллель *Rht8b* (174 п.н.) и является фоточувствительным к длине дня (аллель 414 п.н.).

Новый сорт достоверно превосходит стандарт Астана (рекомендуемый Госкомиссией РК) и стандарт Дуэт (рекомендуемый Госкомиссией РФ): по урожайности – на 0,61 и 1,84 т/га; по массе 1000 зерен – на 7,9 и 10,6 г; по натуре – на 20 и 9 г/л; по содержанию сырой клейковины – на 0,8 и 4,9 % и белка – на 1,00 и 1,39 % соответственно. Параметры экологической пластичности нового сорта (коэффициент линейной регрессии ($b_1 = 1,08$), показатель стабильности ($\sigma_a^2 = 0,27$)) свидетельствуют о его высокой отзывчивости на

улучшение условий возделывания и высокой буферности при попадании в неблагоприятные условия. Такая реакция свойственна сортам интенсивного типа.

Сорт адаптирован для выращивания в Северо-Казахстанской области, отвечает требованиям современного сельскохозяйственного производства. По данному сорту ведется семеноводство. В первичных питомниках получено 146,8 т кондиционных семян, которые преданы производству для получения суперэлиты.

Список литературы

1. Белан И. А., Федоренко Е. Н., Россеева Л. П., Мухордова М. Е., Блохина Н. П., Пугачева Н. С., Игнатова Е. Ю. Эффективность сотрудничества «Омский АНЦ» и «Северо-Казахстанская СХОС» при создании сортов яровой мягкой пшеницы. Генофонд и селекция растений: сб. мат-лов 6-й Международ. конф., Новосибирск, 23-25 ноября 2022 года. Новосибирск: Федеральный исследовательский центр Институт цитологии и генетики Сибирского отделения Российской академии наук, 2022. С. 42-46. DOI: <https://doi.org/10.18699/GPB-2022-01>
2. Белан И. А., Россеева Л. П., Блохина Н. П., Григорьев Ю. П., Мухина Я. В., Трубочеева Н. В., Першина Л. А. Ресурсный потенциал сортов мягкой яровой пшеницы для условий Западной Сибири и Омской области (аналитический обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):449-465. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465> EDN: NTNDZB
3. Гончаров Н. П., Богуславский Р. Л., Орлова Е. А., Белоусова М. Х., Аминов Н. Х., Коновалов А. А., Кондратенко Е. Я., Гуляева Е. И. Устойчивость амфилоидов пшениц к возбудителю бурой ржавчины. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2020;6(3):95-106. DOI: <https://doi.org/10.18699/Letters2020-6-14> EDN: LPRRAW
4. Гончаров Н. П., Косолапов В. М. Селекция растений – основа продовольственной безопасности России. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(4):361-366. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.039> EDN: MAZDRX
5. Белан И. А., Россеева Л. П., Григорьев Ю. П., Пахотина И. П. Высококачественный сорт пшеницы мягкой яровой Омская 44 для условий Западной Сибири и Омской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):174-183. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183> EDN: RWNJJD
6. Круглова Н. Н., Зинатуллина А. Е. Культура *in vitro* автономных зародышей как модельная система для исследования стресс-устойчивости растений к абиотическим факторам (на примере злаков). Успехи современной биологии. 2021;141(5):483-495. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0042132421050057> EDN: LZXFNN
7. Рушина Н. А., Мирская Г. В. Использование аллель-специфичных маркеров гена PPD-D1 для отбора скороспелых форм пшеницы на начальных этапах селекции. Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В. Р. Филиппова. 2020;(3(60)):45-54. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44559642> EDN: JPZYEC
8. Мухордова М. Е. Выявление доноров короткостебельности у образцов озимой пшеницы с помощью ДНК-маркеров и диаллельного анализа. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(4(56)):73-79. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-73-79> EDN: KVRRVF
9. Мухордова М. Е., Белан И. А., Россеева Л. П. Использование молекулярных маркеров в селекции пшеницы мягкой яровой в Омском аграрном научном центре. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(6):5-10. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_6_5 EDN: YQVBXH
10. Россеева Л. П., Белан И. А., Мешкова Л. В., Блохина Н. П., Ложникова Л. Ф., Осадчая Т. С., Трубочеева Н. В., Першина Л. А. Селекция на устойчивость к стеблевой ржавчине яровой мягкой пшеницы в Западной Сибири. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2017;(7(153)):5-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29368539> EDN: YSRLVX
11. Лапочкина И. Ф., Гайнуллин Н. Р., Баранова О. А., Коваленко Н. М., Марченкова Л. А., Павлова О. В., Митрошина О. В. Комплексная устойчивость линий яровой и озимой мягкой пшеницы к биотическим и абиотическим стрессам. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;25(7):723-731. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.082> EDN: ETASKA

12. Зотова Л. П., Джатаев С. А. Оценка коллекционных образцов яровой мягкой пшеницы на засухоустойчивость в условиях Северного Казахстана. Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина. 2019;(1(100)):35-46. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47571265>

13. Pershina L. A., Belova L. I., Trubacheeva N. V., Osadchaya T. S., Shumny V. K., Belan I. A., Rosseeva L. P., Nemchenko V. V., Abakumov S. N. Alloplasmic recombinant lines (*H. vulgare*)-*T. aestivum* with 1RS.1BL translocation: initial genotypes for production of common wheat varieties. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(5):544-552. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.393>

14. Леонова И. Н. Влияние чужеродного генетического материала на проявление хозяйственно важных признаков мягкой пшеницы (*T. aestivum* L.). Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018;22(3):321-328. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.367> EDN: XMHVDV

References

1. Belan I. A., Fedorenko E. N., Rosseeva L. P., Mukhordova M. E., Blokhina N. P., Pugacheva N. S., Ignatieva E. Yu. The effectiveness of cooperation between "Omsk ASC" and "North-Kazakhstan AES" in the creation of varieties of spring soft wheat. Genepool and Plant Breeding (GPB2022): The 6th International Conference (November 23–25, 2022, Novosibirsk, Russia). Novosibirsk: Institute of Cytology and Genetics, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 2022. С. 42-46. DOI: <https://doi.org/10.18699/GPB-2022-01>

2. Belan I. A., Rosseeva L. P., Blokhina N. P., Grigoriev Yu. P., Mukhina Y. V., Trubacheeva N. V., Pershina L. A. Resource potential of soft spring wheat varieties for the conditions of Western Siberia and Omsk region (analytical review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(4):449-465. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.449-465>

3. Goncharov N. P., Boguslavskiy R. L., Orlova E. A., Belousova M. Kh., Aminov N. Kh., Kononov A. A., Kondratenko E. Ya., Gulyaeva E. I. Leaf rust resistance in wheat amphidiploids. *Pis'ma v Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2020;6(3):95-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/Letters2020-6-14>

4. Goncharov N. P., Kosolapov V. M. Plant breeding is the food security basis in the Russian Federation. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(4):361-366. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.039>

5. Belan I. A., Rosseeva L. P., Grigoriev Yu. P., Pakhotina I. V. High-quality variety of soft spring wheat Omskaya 44 for the conditions of Western Siberia and Omsk region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(2):174-183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.174-183>

6. Kruglova N. N., Zinatullina A. E. *In vitro* culture of autonomous embryos as a model system for the study of plant stress resistance to abiotic factors (on example of cereals). *Uspekhi sovremennoy biologii*. 2021;141(5):483-495. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0042132421050057>

7. Rushina N. A., Mirskaya G. V. Using allele-specific markers of *PPD-D1* gene for the early forms selection of bread wheat in the initial selection stages. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii im. V. R. Filippova* = Bulletin of Buryat State Academy of Agriculture. 2020;(3(60)):45-54. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44559642>

8. Mukhordova M. E. Identification of short-stemming donors of winter wheat samples with application of DNA markers and dialle analysis. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(4(56)):73-79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-4-73-79>

9. Mukhordova M. E., Belan I. A., Rosseeva L. P. The use of molecular markers in the breeding of soft spring wheat at the Omsk agricultural scientific centre. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(6):5-10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_6_5

10. Rosseeva L. P., Belan I. A., Meshkova L. V., Blokhina N. P., Lozhnikova L. F., Osadchaya T. S., Trubacheeva N. V., Pershina L. A. Breeding spring soft wheat for resistance to stem rust in West Siberia. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2017;(7(153)):5-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29368539>

11. Lapochkina I. F., Gainullin N. R., Baranova O. A., Kovalenko N. M., Marchenkova L. A., Pavlova O. V., Mitroshina O. V. Complex resistance of spring and winter bread wheat lines to biotic and abiotic stresses. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2021;25(7):723-731. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ21.082>

12. Zotova L. P., Dzhatayev S. A. Assessment of collective samples of spring soft wheat for droughtability in the conditions of North Kazakhstan. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo universiteta im. S. Seyfullina*. 2019;(1(100)):35-46. (In Kazakhstan). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47571265>

13. Pershina L. A., Belova L. I., Trubacheeva N. V., Osadchaya T. S., Shumny V. K., Belan I. A., Rosseeva L. P., Nemchenko V. V., Abakumov S. N. Alloplasmic recombinant lines (*H. vulgare*)-*T. aestivum* with 1RS.1BL translocation: initial genotypes for production of common wheat varieties. Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(5):544-552. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.393>

14. Leonova I. N. Influence of alien genetic material on the manifestation of agronomically important traits of common wheat (*T. aestivum* L.). *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2018;22(3):321-328. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ18.367>

Сведения об авторах

Белан Игорь Александрович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8911-4199>

Федоренко Елена Николаевна, научный сотрудник, ТОО «Северо-Казахстанская СОС», ул. Центральная, стр. 19, с.Шагалалы, с.О.Шагалалы, Аккайынский р-н, Северо-Казахстанская обл., Республика Казахстан, 150311, e-mail: 87153223511@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4117-5259>

Россева Людмила Петровна, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5885-4020>

✉ **Мухордова Мария Евгеньевна**, кандидат с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, зав. лабораторией, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5788-2409>, e-mail: mukhordova@anc55.ru

Игнатьева Елена Юрьевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр. Королева, д. 26, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6291-9678>

Information about the authors

Igor A. Belan, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Laboratory, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8911-4199>

Elena N. Fedorenko, researcher, LLP "North-Kazakhstanskaya AES", st. Tsentralnaya, building 19, Shagalaly village, Shagalaly village, Akkayyn district, North Kazakhstan region, Republic of Kazakhstan, 150311, e-mail: 87153223511@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4117-5259>

Lyudmila P. Rosseeva, PhD in Agricultural Science, senior researcher, leading researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5885-4020>

✉ **Maria E. Mukhordova**, PhD in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, Head of the Laboratory, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5788-2409>, e-mail: mukhordova@anc55.ru

Elena Yu. Ignatieva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Omsk Agrarian Scientific Center, 26 Koroleva Ave., Omsk, Russian Federation, e-mail: 55asc@bk.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6291-9678>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области

© 2023. Т. А. Барковская ✉, О. В. Гладышева, В. Г. Кокорева

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

В статье дана комплексная оценка 5 сортам (Лада, Агата, РИМА, Арсея, Маэстро) и 5 селекционным линиям яровой мягкой пшеницы по урожайности и адаптивным свойствам. Исследования проводили в 2018–2022 гг. в условиях Рязанской области на темно-серой лесной почве. Потенциал продуктивности и адаптивности определяли по методике Л. А. Животкова с соавторами, степень варьирования урожайности (CV, %) – по Б. А. Доспехову, размах урожайности (d, %) – по В. А. Зыкину, индекс стабильности (L') – по А. А. Грязнову, показатель уровня стабильности урожайности сорта (ПУСС) – по Э. Д. Неттевичу с соавторами, экологическую пластичность (b_i), стабильность урожайности (σ^2_d) и индекс условий среды (I_j) – по С. А. Эберхарту и У. А. Расселу. Установлено, что в среднем за 2018–2022 гг. наибольшим потенциалом урожайности обладали сорта Арсея (5,19 т/га), Маэстро (5,69 т/га) и линия 268 (5,33 т/га). Выявлено, что продуктивность сорта Маэстро и линии 268 была выше среднесортовой как при благоприятных условиях 2022 года ($I_j = +6,2$) – на 16,3 и 9,7 %, так и при неблагоприятных засушливых 2019 года ($I_j = -5,4$) – на 22,0 и 24,5 % соответственно. Продуктивность сорта Арсея в условиях жесткой засухи составляла 99,1 % от среднесортовой, что свидетельствует о хороших адаптивных свойствах. В результате оценки по коэффициенту линейной регрессии выявлено, что сорта РИМА, Агата, Лада, Арсея активно реагируют на улучшение внешних факторов среды ($b_i = 1,23; 1,35; 1,43; 1,52$ соответственно). По результатам комплексной оценки адаптивных свойств выделились сорт Маэстро и линия 898, которые характеризовались относительно стабильной урожайностью (CV – 9,3 и 5,2 %; σ^2_d – 7,71 и 9,09; L' – 6,12 и 9,44; ПУСС – 209,6 и 176,5 % соответственно) и высокой адаптивностью к условиям среды (КА – 1,17 и 1,01 соответственно).

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., сорт, индекс условий среды, параметры адаптации, стабильность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN2022-0013).

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Оценка адаптивности и потенциальной продуктивности яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):58-65. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>

Поступила: 13.01.2023

Принята к публикации: 03.02.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Assessment of adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region

© 2023. Tatyana A. Barkovskaya ✉, Olga V. Gladysheva, Valeria G. Kokoreva

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

The article gives a comprehensive assessment of 5 varieties (Lada, Agata, RIMA, Arcea, Maestro) and 5 breeding lines of spring soft wheat according to the yield and adaptive properties. The studies were carried out in 2018–2022 in the conditions of the Ryazan region on dark gray forest soil. The potential for productivity and adaptability was determined according to the method of L. A. Zhivotkov et al., the degree of yield variation (CV, %) – according to B. A. Dospikhov, the yield range (d, %) – according to V. A. Zykin, index of stability (L') – according to A. A. Gryaznov, the indicator of the level of stability of the yield of a variety (PUSS) – according to E. D. Nettevich et al., ecological plasticity (b_i), stability of yield (σ^2_d) and index of environment conditions (I_j) – according to S. A. Eberhart and W. A. Russell. It has been established that on average for 2018–2022 the highest yield potential was noted in the varieties Arcea (5.19 t/ha), Maestro (5.69 t/ha) and line 268 (5.33 t/ha). It was revealed that the productivity of the Maestro variety and line 268 was higher than the average varietal both under favorable conditions of 2022 ($I_j = +6.2$) – by 16.3 and 9.7 %, and under unfavorable dry conditions of 2019 ($I_j = -5.4$) – by 22.0 and 24.5 %, respectively. The productivity of the Arcea variety under conditions of severe drought was 99.1 % of the average varietal, which indicates good adaptive properties. As the result of the assessment by the linear regression coefficient (b_i), it has been established that the varieties RIMA, Agata, Lada, Arcea actively respond to the improvement of external environmental factors ($b_i = 1.23; 1.35; 1.43; 1.52$, respectively). According to the results of a comprehensive assessment of adaptive properties, the Maestro variety and line 898 were distinguished, which were characterized by a relatively stable yield (CV – 9.3 and 5.2%; σ^2_d – 7.71 and 9.09; L' – 6.12 and 9.44; PUSS – 209.6 and 176.5 %, respectively) and high adaptability to environmental conditions (CA – 1.17 and 1.01, respectively).

Keywords: *Triticum aestivum* L., variety, index of environmental conditions, adaptation parameters, stability

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of and Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM (theme No. FGUN2022-0013). The authors thanks the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. Evaluation of the adaptability and potential productivity of spring soft wheat in the conditions of the Ryazan region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):58-65. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.58-65>

Received: 13.01.2023

Accepted for publication: 03.02.2023

Published online: 27.02.2023

Устойчивое функционирование и дальнейшее развитие отечественного зернового производства имеет стратегическое значение, позволяет обеспечивать финансовую устойчивость предприятиям агропромышленного комплекса, даёт дополнительный импульс к его развитию и является основополагающим фактором гарантированной экономической и продовольственной безопасности страны [1].

Высокая вариабельность погодных условий и их аномальных явлений (засуха, град, переувлажнение в период уборки и т. д.) как в мире, так и во многих регионах России приводит к тенденции снижения темпа роста валовых сборов сельскохозяйственных культур [2, 3, 4].

В настоящее время одной из приоритетных задач селекции является повышение зерновой продуктивности будущих сортов, которые могут максимально реализовывать биологический потенциал в широком диапазоне условий среды [5, 6, 7]. При этом в различных условиях среды колебания урожайности генотипа должны быть незначительны.

Селекционная направленность работы в настоящее время ориентирована на адаптивность к контрастным погодным условиям [8] и, прежде всего к экстремальным, которые в наибольшей степени ограничивают потенциал возможной урожайности [9, 10, 11]. Показатели пластичности, стабильности и гомеостатичности являются неотъемлемыми компонентами акклиматизации [11, 12] и определяют уровень адаптации сорта к различным стрессорам [13].

Необходимо добиваться синергизма показателей высокой продуктивности и стабильности сорта, которые зачастую отрицательно зависимы [7].

Проявление реакции генотипа на факторы окружающей среды всегда объёмны и многогранны, в связи с этим необходимо комплексно подходить к оценке биологической сути его адаптивных свойств [14]. В частности, для результативности поставленных задач необходим системный подход к данной проблеме с применением различных методик и использо-

ванием накопленной информации для определения этих параметров. Широкий спектр показателей позволит более полно изучить сортообразцы и дать объективную характеристику их стабильности в различных условиях среды и отклика на улучшение условий возделывания.

При этом главным аспектом является выявление генотипов, сочетающих пластичность и стрессоустойчивость с экологической стабильностью, способных на полную отдачу от дополнительных вложений высокоинтенсивных и наукоемких агротехнологий.

Цель исследования – дать комплексную оценку сортам и новым селекционным линиям яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) по урожайности и адаптивным свойствам в условиях Рязанской области (Центральный регион России).

Новизна исследований. Комплексным анализом с применением различных методик выявлена адаптивная способность сортов и новых селекционных линий яровой мягкой пшеницы на фоне различных лимитирующих факторов среды в условиях Рязанской области.

Материал и методы. Исследования проводили в питомнике конкурсного сортоиспытания в 2018-2022 гг. на полях Института семеноводства и агротехнологий (филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»).

Почва опытного участка темно-серая лесная тяжелосуглинистая с содержанием органического вещества – 3,05 %, азота нитратного – 21,6 мг/кг, азота аммонийного – 1,98 мг/кг, рН_{сол} – 5,05 ед., подвижного фосфора – 261,7 мг/кг, подвижного калия – 156,2 мг/кг, обменного магния – 1,73 ммоль/100 г почвы.

Объектом исследований являлись районированные по Центральному региону сорта яровой мягкой пшеницы (Лада, Агата, РИМА, Арсея, Маэстро), 5 линий селекции ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка» и ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Стандартом служил сорт Агата.

Предшественник – чистый пар. Учетная площадь делянки – 10 м², повторность – 4-кратная.

Норма высева – 6 млн всх. семян на 1 га. Агротехника – общепринятая для данной культуры.

Оценка продуктивного и адаптивного потенциала сортов и линий яровой мягкой пшеницы была проведена с применением различных методик: потенциальную продуктивность и адаптивность определяли по методике Л. А. Животкова с соавторами¹, коэффициент вариации урожайности (CV, %) по Б. А. Доспехову², размах урожайности (d, %) – по В. А. Зыкину с соавторами³, индекс стабильности (L') – по А. А. Грязнову⁴, показатель уровня стабильности урожайности сорта (ПУСС) – по Э. Д. Неттевичу и др.⁵, экологическую пластичность (коэффициент линейной регрессии b_i), стабильность урожайности (σ^2_d) и индекс условий среды – по методике С. А. Эберхарта и У. А. Рассела (S. A. Eberhart и W. A. Russell) в изложении В. А. Зыкина с соавторами⁶.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия за период исследований различались как по температурному режиму, так и по степени увлажнения, что подтверждает расчет индекса среды (I_j), который варьировал по годам от -5,4 до +6,2 (табл. 1). В период вегетации 2018 года растения развивались при оптимальных значениях среднесуточных температур (сумма активных температур за вегетацию – 1944 °С), осадков выпало 109 мм (ГТК = 0,59). Вегетационный период 2019 года проходил в экстремально жарких условиях, превышающих среднемноголетние значения на 6,5-8,5 °С (сумма активных температур за вегетацию – 2187 °С) при ГТК = 0,58, что привело к формированию относительно низкой урожайности сортов образцов.

В 2020 году растения развивались в условиях обильных осадков (ГТК = 1,31) со штормовыми ветрами, что привело к раннему полеганию растений и снижению урожайности. В 2021 году отмечались резкие перепады среднесуточных температур воздуха в течение вегетации и неравномерная влагообеспеченность (ГТК = 0,96). В 2022 году период

закладки генеративных органов яровой мягкой пшеницы проходил в благоприятных условиях (ГТК = 1,12), что способствовало реализации потенциальных возможностей сортов образцов.

Средняя многолетняя урожайность в опыте за годы исследований составила 48,5 ц/га. Контрастность погодных условий 2018-2022 гг. способствовала формированию различного уровня урожайности у изучаемых сортов и линий яровой мягкой пшеницы. Так, урожайность сорта-стандарта Агата находилась в пределах от 39,4 ц/га в 2019 г. ($I_j = -5,4$) до 57,5 ц/га в 2022 г. ($I_j = +6,2$). Уровень максимальной среднесортной урожайности в 2022 году (54,7 ц/га) превысил на 27,8 % минимальные значения 2019 г. (42,8 ц/га). В неблагоприятный по погодным условиям 2019 год самую низкую урожайность сформировали сорт Лада (31,9 ц/га) и линия 509 (39,5 ц/га). В среднем за 2018-2022 гг. наибольшим потенциалом урожайности обладали сорта Арсея (51,9 ц/га), Маэстро (56,9 ц/га) и линия 268 (53,3 ц/га) (табл. 1).

Критерием адаптивной реакции сорта на конкретные условия вегетации являлось отношение его урожайности в данные годы к среднесортной⁷. По данным наших исследований, в благоприятных условиях 2022 г. у линии 268 и сортов Арсея, Маэстро и Агата урожайность составила 60,0, 60,2, 63,6 и 57,5 ц/га соответственно, что на 5,1...16,3 % выше среднесортной. Выделившиеся сорта отличались высоким потенциалом продуктивности в благоприятных условиях, что позволило их отнести к интенсивным.

Экстремальные засушливые погодные условия 2019 г. способствовали выявлению высокой адаптивности у сорта Маэстро и линии 268, их продуктивность была выше среднесортной на 22,0 и 24,5 % соответственно. В благоприятные и неблагоприятные годы у сортов Лада, Агата и линий 1036, 509 отмечена пониженная урожайность относительно среднесортной.

¹Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность». Селекция и семеноводство. 1994;(2):3-7. URL: <https://istina.msu.ru/publications/article/2314139/>

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М., 2012. 352 с.

³Зыкин В. А., Белан И. А., Россеев В. М., Пашков С. В. Селекция яровой пшеницы на адаптивность: результаты и перспективы. Доклады Россельхозакадемии. 2000;(2):5-7.

⁴Грязнов А. А. Селекция ячменя в Северном Казахстане. Селекция и семеноводство. 2000;(4):2-8.

⁵Неттевич Э. Д., Моргунов А. И., Максименко М. И. Повышение эффективности отбора яровой пшеницы на стабильность урожайности и качество зерна. Вестник сельскохозяйственной науки. 1985;(1):66-73.

⁶Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методика экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Омск, 2008. 35 с.

⁷Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Указ. соч.

Таблица 1 – Урожайность сортов и линий яровой пшеницы и ее доля по отношению к среднесортовой урожайности года /
Table 1 – Yield of varieties and lines of spring wheat and its share in relation to the average varietal yield of the year

Сортообразец / Variety sample	Урожайность, ц/га / Productivity, c/ha						среднее / average	Доля относительно среднесортовой урожайности, % / Share relative to average varietal yield, %			
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2018 г.		2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
Лада / Lada	51,1*	31,9	32,3	45,0	46,4	41,3	100,2	74,5	68,6	95,7	84,8
Агата, ст. / Agatha, st.	47,2	39,4	46,4	47,2	57,5*	47,5	92,5	92,0	98,5	100,4	105,1
РИМА / RIMA	49,4	35,9	42,3	47,4	51,0*	45,2	96,9	83,9	89,8	100,9	93,2
Арсеа / Arcea	52,7*	42,4	47,5	52,3*	60,2*	51,9	112,2	99,1	100,8	111,3	110,1
Маэстро / Maestro	60,5*	52,2*	51,2*	57,0*	63,6*	56,9	118,6	122,0	108,7	121,3	116,3
Линия 268 / Line 268	57,5*	53,3*	51,0*	44,7	60,0*	53,3	112,7	124,5	108,3	95,1	109,7
Линия 898 / Line 898	47,9	46,7	53,2	47,2	48,7	48,7	93,9	109,1	112,9	100,4	89,0
Линия 1036 / Line 1036	47,3	42,3	52,1*	42,1	53,3*	47,4	92,7	98,8	110,6	89,6	97,4
Линия 509 / Line 509	45,2	39,5	54,1*	44,3	53,8*	47,4	88,6	92,3	114,9	94,2	98,4
Линия 534 / Line 534	46,2	44,5	40,8	42,8	52,6*	45,4	90,6	104,0	86,6	91,0	96,2
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	2,2	3,2	3,7	2,5	2,8	1,3	-	-	-	-	-
Среднесортовая урожайность / Average varietal yield	51,0	42,8	47,1	47,0	54,7	48,4	100	100	100	100	100
Индекс условий среды (I _j) / Index of environmental conditions (I _j)	+2,4	-5,4	-1,4	-1,5	+6,2	-	-	-	-	-	-

* Достоверная прибавка относительно среднесортовой урожайности /
* Reliable increase relative to the average varietal yield

Таблица 2 – Показатели адаптивности, пластичности и стабильности сортов и линий яровой пшеницы (2018–2022 гг.) /
Table 2 – Indicators of adaptability, plasticity and stability of varieties and lines of spring wheat (2018–2022)

Сортообразец / Variety sample	Коэффициент вариации (CV), % / Coefficient of variation (CV), %	Коэффициент адаптации (КА) / Adaptation factor (KA)	Размах урожайности (d), % / Yield range (d), %	Индекс стабильности (L') / Stability index (L')	Показатель уровня стабильности сорта (ПУСС), % / Variety stability indicator (VSS), %	Экологическая пластичность (коэффициент регрессии, b ₁) / Ecological plasticity (regression coefficient, b ₁)	Стабильность b (σ ² _d) / Stability (σ ² _d)
Лада / Lada	21,1	0,85	37,6	1,95	51,2	1,43	47,10
Агата, ст. / Agatha, st.	13,6	0,98	31,4	3,49	100,0	1,35	5,95
РИМА / RIMA	13,6	0,93	29,6	3,32	90,4	1,23	9,02
Арсея / Arcea	14,6	1,07	29,6	3,55	110,8	1,52	5,67
Маэстро / Maestro	9,3	1,17	19,5	6,12	209,6	1,05	7,71
Линия 268 / Line 268	11,2	1,10	25,5	4,76	153,0	0,83	28,48
Линия 898 / Line 898	5,2	1,01	12,2	9,44	176,5	0,07	9,09
Линия 1036 / Line 1036	11,1	0,99	21,0	4,27	121,7	0,82	18,55
Линия 509 / Line 509	13,4	0,97	26,6	3,54	101,2	0,92	31,39
Линия 534 / Line 534	9,9	0,94	22,4	4,62	127,7	0,77	11,14

Следует отметить, что продуктивность сорта Арсея в жестких условиях относительно среднесортной была ниже всего на 0,9 %, что свидетельствует о хороших адаптивных свойствах, особенно в сравнении с сортами РИМА и Лада, у которых урожайность на 16,6 и 25,5 % ниже среднесортной. В этот год сорт Агата сформировал урожайность в сравнении с 2022 г. ниже в 1,1 раза и на 3,4 ц/га меньше среднесортной. Для реализации генетического потенциала сорту Агата необходимы более благоприятные условия вегетации.

В среднем за годы исследований высокий показатель коэффициента адаптации (КА) был у сортов Арсея, Маэстро и линий 268 и 898 – 1,01–1,17 (табл. 2).

Степень изменчивости урожайности у сортов и линий яровой пшеницы находилась на среднем уровне 9,3–14,6 %. Незначительная вариабельность урожайности выявлена у линии 898 – 5,2 %, самая высокая у сорта Лада – 21,1 %.

Минимальное значение показателя d (размах урожайности) показывает, насколько стабилен объект в изменяющихся условиях окружающей среды. В наших исследованиях наименьшие показатели данного параметра отмечены у сорта Маэстро и линии 898 – 19,5 и 12,2 % соответственно.

У сортообразцов яровой пшеницы прослеживалась сильная дифференциация по индексу стабильности (L') – 1,95–9,44. Установлено, что сорт Лада обладает наименьшим показателем индекса стабильности и является неустойчивым к экстремальным условиям среды. Самый высокий индекс стабильности – у сорта Маэстро, линий 268 и 898 – 6,12; 4,76; 9,44 соответственно. Анализ данных показывает, что выявлен четкий тренд увеличения данного параметра в сторону современных сортов и линий.

Комплексный показатель (ПУСС) характеризует изменение урожайности и стабильности сорта во временной динамике по сравнению со стандартом. За годы исследований все сортообразцы по этому показателю на 1,2–109,6 % превосходили значения стандартного сорта Агата, за исключением сортов РИМА и Лада, у которых величина ПУСС отмечена ниже стандарта на 48,8 и 9,6 % соответственно. Максимальное значение показателя ПУСС отмечено у сорта Маэстро – 209,6 %.

Экологическую пластичность рассчитывали по модели С. А. Эберхарта и У. А. Рассела (S. A. Eberhart и W. A. Russell)⁸, которая основана на двух параметрах (коэффициенте линейной регрессии (b_i) и дисперсии (σ^2_d). При этом первый показывает отклик генотипа на улучшение условий выращивания, второй характеризует стабильность сорта в различных условиях среды. В результате оценки по коэффициенту линейной регрессии выявлено, что сорта РИМА, Агата, Арсея обладали сильной отзывчивостью на изменение условий среды ($b_i = 1,23; 1,35; 1,52$ соответственно). Следовательно, такие сорта необходимо выращивать по высокоинтенсивным технологиям, в условиях которых они раскроют свой адаптивный потенциал.

У сорта Лада высокая отзывчивость на условия среды ($b_i = 1,43$) сочеталась с повышенной вариабельностью урожайности ($CV = 21,1\%$), низкими показателями адаптации ($KA = 0,85$) и стабильности ($\sigma^2_d = 47,1$), подобное сочетание показателей указывает на малоценность сорта в сложившихся условиях вегетации.

Коэффициент регрессии сорта Маэстро, равный 1,05, показывает на полное соответствие изменения урожайности сорта изменению условий выращивания (при $b_i = 1$).

Установлено, что селекционные линии слабо реагируют на изменение условий среды ($b_i < 1$), в связи с этим их можно отнести к группе полуинтенсивных, для которых будут эффективны базовые технологии возделывания. Линия 898, средняя урожайность которой

за годы исследования составляла 48,7 ц/га, отмечена низкими показателями стабильности ($\sigma^2_d = 9,09$) и пластичности ($b_i = 0,07$), что характеризует ее как стабильную и не зависящую от внешних условий выращивания. Поэтому линию 898 можно рекомендовать для возделывания на экстенсивном фоне.

Сорта яровой пшеницы Арсея, Агата, Маэстро при высокой отзывчивости на изменение условий среды обладали достаточно высокими показателями стабильности ($\sigma^2_d = 5,67; 5,95; 7,71$ соответственно).

Заключение. Таким образом, в условиях Рязанской области в качестве наиболее урожайных за вегетационные периоды 2018-2022 гг. отмечены сорта яровой мягкой пшеницы Арсея (5,19 т/га), Маэстро (5,69 т/га) и линия 268 (5,33 т/га). В результате оценки параметров адаптивности определены различные уровни экологической пластичности изучаемых сортов и линий. По результатам комплексной оценки адаптивных свойств выделились сорт Маэстро и линия 898, которые характеризовались относительно стабильной урожайностью ($CV = 9,3$ и $5,2\%$; $\sigma^2_d = 7,71$ и $9,09$; $L' = 6,12$ и $9,44$; ПУСС – $209,6$ и $176,5\%$ соответственно) и высокой адаптивностью к условиям среды ($KA = 1,17$ и $1,01$ соответственно).

Полученную в результате анализа информацию можно использовать в практических целях при планировании сортовых технологий возделывания яровой мягкой пшеницы в условиях Рязанской области.

Список литературы

1. Федорова В. И., Кузьменко С. С. Позиции Российской Федерации на мировом рынке зерна. Вестник Московского университета имени С. Ю. Витте. Серия 1. Экономика и управление. 2018;(3(26)):16-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36310187> EDN: YLREJF
2. Langridge P., Reynolds M. Breeding for drought and heat tolerance in wheat. Theoretical and Applied Genetics. 2021;134(6):1753-1769. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03795-1>
3. ИONOBA E. B., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы). Зерновое хозяйство России. 2019;(6):18-22. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22> EDN: JLXVGY
4. Зайцев Н. И., Равенко В. Ю., Устарханова Э. Г. Результаты мониторинга поврежденных градом посевов сои. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(1):67-75. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.67-75> EDN: KAAGGS
5. Singh M., Kumar S. Broadening the Genetic Base of Grain Cereals. New Delhi: Springer, 2016. 275 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-3613-9_1
6. Барковская Т. А., Гладышева О. В., Кокорева В. Г. Высокопродуктивный сорт яровой мягкой пшеницы Маэстро для Центрального Нечерноземья. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022;(2):21-24. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2022/2/21-24> EDN: JLNMRZ

⁸Зыкин В. А., Белан И. А., Юсов В. С., Корнева С. П. Методика экологической пластичности сельскохозяйственных растений. Омск, 2008. 35 с.

7. Иванова И. Ю., Волкова Л. В. Изменчивость хозяйственных признаков яровой пшеницы и их вклад в стабилизацию урожайности. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(6):567-574. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.567-574> EDN: KCRSKR
8. Гончаренко А. А. Экологическая устойчивость сортов зерновых культур и задачи селекции. *Зерновое хозяйство России*. 2016;(3):31-37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26642951> EDN: WLASMV
9. Алабушев А. В., Макарова Т. С., Самофалова Н. Е., Иличкина Н. П., Дубинина О. А. Параметры пластичности и стабильности сортов озимой твердой пшеницы по различным предшественникам в условиях Ростовской области. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2019;20(6):557-566. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.557-566> EDN: ODXKMJ
10. Филипов Е. Г., Донцова А. А., Брагин Р. Н. Оценка показателей адаптивности сортов озимого ячменя в условиях юга России. *Зерновое хозяйство России*. 2019;(4(64)):14-18. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-14-18> EDN: XDRMPH
11. Новохатин В. В., Шеломенцева Т. В., Драгавцев В. А. Новый комплексный подход к изучению динамики повышения адаптивности и гомеостатичности у сортов мягкой яровой пшеницы (на примере длительной истории селекции в Северном Зауралье). *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(1):81-97. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.81rus> EDN: DAYGED
12. Айдарбекова Т. Ж., Сыздыкова Г. Т., Малицкая Н. В., Нургазиев Р. Е., Хусаинов А. Т., Жабасева М. У., Маханова С. К., Шойкин О. Д. Сравнительная оценка линий яровой мягкой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в степной зоне Северо-Казахстанской области. *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(1):66-80. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.1.66rus> EDN: JXIZVO
13. Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко Н. А., Дедушев И. А., Ромахина В. В., Болдырев М. А. Урожайность, пластичность, стабильность и гомеостатичность сортов ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны. *Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции*. 2022;183(1):38-47. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-38-47> EDN: FBPVLW
14. Давыдова Н. В., Казаченко А. О., Широколава А. В., Нардид В. А., Резепкин А. М., Шарошкина Е. Е., Грачева А. В., Романова Е. С. Экологическая оценка стабильности и пластичности сортов яровой мягкой пшеницы различных периодов сортосмены. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020;(3):142-148. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-142-149> EDN: VTQXNN

References

1. Fedorova V. I., Kuzmenko S. S. Role of the Russian Federation on the world grain market. *Vestnik Moskovskogo universiteta imeni S. Yu. Vitte. Seriya 1. Ekonomika i upravlenie* = Moscow Witte University Bulletin. Series 1: Economics and Management. 2018;(3(26)):16-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36310187>
2. Langridge P., Reynolds M. Breeding for drought and heat tolerance in wheat. *Theoretical and Applied Genetics*. 2021;134(6):1753-1769. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03795-1>
3. Ionova E. V., Likhovidova V. A., Lobunskaya I. A. Drought and hydrothermal humidity factor as one of the criteria to estimate its intensity degree (literature review). *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(6):18-22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-66-6-18-22>
4. Zaitsev N. I., Revenko V. Yu., Ustarkhanova E. G. Results of monitoring hail-damaged soybean crops. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(1):67-75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.1.67-75>
5. Singh M., Kumar S. Broadening the Genetic Base of Grain Cereals. New Delhi: Springer, 2016. 275 p. DOI: https://doi.org/10.1007/978-81-322-3613-9_1
6. Barkovskaya T. A., Gladysheva O. V., Kokoreva V. G. The maestro is the high productivity spring variety soft wheat for the central non-chernozem region. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2022;(2):21-24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2022/2/21-24>
7. Ivanova I. Yu., Volkova L. V. Variability of economically valuable traits of spring wheat and their contribution to productivity stabilization. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(6):567-574. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.567-574>
8. Goncharenko A. A. Ecological stability of grain crop varieties and tasks of breeding. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2016;(3):31-37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26642951>
9. Alabushev A. V., Makarova T. S., Samofalova N. E., Ilichkina N. P., Dubinina O. A. Parameters of adaptability and stability of winter durum wheat varieties according to various forecrops in the Rostov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2019;20(6):557-566. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.557-566>
10. Filipov E. G., Dontsova A. A., Bragin R. N. Otsenka pokazateley adaptivnosti sortov ozimogo yachmenya v usloviyakh yuga Rossii. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2019;(4(64)):14-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2019-64-4-14-18>

11. Novokhatin V. V., Shelomentseva T. V., Dragavtsev V. A. A novel integrative approach to study the dynamics of an increase in common spring wheat adaptivity and homeostaticity (on the example of breeding programs in the Northern Trans-Ural). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(1):81-97. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2022.1.81rus>

12. Aydarbekova T. Zh., Syzdykova G. T., Malitskaya N. V., Nurgaziyev R. E., Husainov A. T., Zhabayeva M. U., Makhanova S. K., Shoykin O. D. Comparative assessment of spring soft wheat lines (*Triticum aestivum* L.) in the steppe zone of the north Kazakhstan region. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2022;57(1):66-80. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiologiya.2022.1.66rus>

13. Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko N. A., Dedushev I. A., Romakhina V. V., Boldyrev M. A. Yield, plasticity, stability and homeostasis of spring barley cultivars in the Non-Black Earth Region. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i selektsii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(1):38-47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-1-38-47>

14. Davydova N. V., Kazachenko A. O., Shirokolava A. V., Nardid V. A., Rezepkin A. M., Sharoshkina E. E., Gracheva A. V., Romanova E. S. Ecological evaluation of stability and plasticity of spring soft wheat varieties of different variety changing periods. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2020;(3):142-148. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-3-142-149>

Сведения об авторах

✉ **Барковская Татьяна Анатольевна**, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, 1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>, e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Гладышева Ольга Викторовна, директор, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, 1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Кокорева Валерия Геннадьевна, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, Институт семеноводства и агротехнологий – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», ул. Парковая, 1, с. Подвьязь, Рязанский район, Рязанская область, Российская Федерация, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-4747>

Information about the authors

✉ **Tatyana A. Barkovskaya**, senior researcher, the Department of Breeding and Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, d. 1, s. Podvyazye, Ryazan district, Ryazan Region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4453-0367>, e-mail: barkovskaya-1960@mail.ru

Olga V. Gladysheva, director, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – a branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, d. 1, s. Podvyazye, Ryazan district, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9030-0055>

Valeria G. Kokoreva, junior researcher, the Department of Breeding and Seed Production, Institute of Seed Production and Agrotechnologies – branch of the Federal Scientific Agroengineering Center VIM, st. Parkovaya, d. 1, s. Podvyazye, Ryazan district, Ryazan region, Russian Federation, 390502, e-mail: podvyaze@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6584-4747>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Работа фотосистемы II листьев ярового ячменя под воздействием ионов марганца

© 2023. Е. М. Лисицын , С. А. Чуракова

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

На растениях шести сортов ярового ячменя (стандарт – сорт Белгородский 100) оценено влияние ионов марганца на работу фотосистемы II (PSII) листьев. Растения в контроле (0 мг/л Mn) и опыте (30, 60, 90 мг/л Mn) выращивали на полной питательной среде Knop в условиях естественного освещения. На листьях 14-дневных растений регистрировали параметры быстрой флуоресценции хлорофилла с помощью флуорометра Fluor Pen FP 110/S. Обнаружено, что чувствительность различных структурных частей PSII варьирует в зависимости от концентрации ионов Mn и используемого генотипа. Так, потоки поглощенной энергии возросли у сорта Боярин при 30 и 60 мг/л Mn (на 7,9 и 14,1 %), сорта Фермер при 60 и 90 мг/л (на 15,8 и 16,1 %), но снизились у сортов Добряк при 30 и 90 мг/л (на 9,7 и 9,0 %), Фермер при 30 мг/л (на 15,8 %) и Бионик при 60 и 90 мг/л (на 8,0 и 6,8 %). Поток энергии, запасаемой в первичных фотохимических реакциях, у сорта Бионик усилился при 30 мг/л марганца (на 6,3 %), но снизился при 60 (на 6,8 %) и 90 мг/л (на 5,3 %), при 30 мг/л Mn повысился у сорта Боярин (на 6,4 %), однако снизился у сорта Форвард (на 11,7 %). Электронный транспорт, приводящий к фиксации CO₂, повышался у сортов Фермер при всех концентрациях Mn (на 8,1...12,6 %), у сорта Бионик повысился при 30 мг/л (на 7,2 %), но снизился при 90 мг/л (на 7,4 %). Электронный поток, приводящий к окислению конечного акцептора PSI, у исследованных сортов не изменялся под влиянием стрессора. Интегральные показатели активности PSII (индексы PI_{ABS} и PI_{ABS_total}) в стрессовых условиях определялись генотипом растений. Это свидетельствует, во-первых, о необходимости проведения адресной селекции (к конкретному уровню действующего фактора), во-вторых, о возможности пирамидирования интегрального уровня устойчивости к стрессору путем подбора родителей, отличающихся по уровню изменения отдельных функциональных реакций фотосинтеза.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., флуоресценция хлорофилла, реакционный центр, пластохинон, электронный транспорт, поток световой энергии, перформанс-индекс

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лисицын Е. М., Чуракова С. А. Работа фотосистемы II листьев ярового ячменя под воздействием ионов марганца. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):66-76.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.66-76>

Поступила: 14.10.2022

Принята к публикации: 31.01.2022

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Activity of photosystem II in spring barley leaves under the action of manganese ions

© 2023. Eugeny M. Lisitsyn , Svetlana A. Churakova

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

The influence of manganese ions (30, 60 and 90 mg/l) on the functioning of the photosystem II (PSII) in leaves was assessed on plants of six spring barley cultivars (Belgorodsky 100, st.). The plants were grown on a complete Knop medium without (control) and with the addition of manganese ions (experiment) under natural light conditions. On 14-day-old leaves, parameters of chlorophyll's rapid fluorescence were recorded using a Fluor Pen FP 110/S fluorometer. The sensitivity of the different structural parts of PSII was found to vary depending on the concentration of Mn ions and the genotype used. Thus, absorbed energy flows increased in the cv. Boyarin at 30 and 60 mg/l Mn (by 7.9 and 14.1 %), in cv. Farmer at 60 and 90 mg/l (by 15.8 and 16.1 %), but decreased in cv. Dobryak at 30 and 90 mg/l (by 9.7 and 9.0 %), Farmer at 30 mg/l (by 15.8 %) and Bionic at 60 and 90 mg/l (by 8.0 and 6.8 %). The flow of energy stored in primary photochemical reactions in the cv. Bionic increased at 30 mg/l of manganese (by 6.3 %), but decreased at 60 (by 6.8 %) and 90 mg/l (by 5.3 %); increased in the cv. Boyarin at 30 mg/l of Mn (by 6.4 %), but decreased in the cv. Forward (by 11.7 %). Electronic transport leading to CO₂ fixation increased in cv. Farmer at all Mn concentrations (by 8.1...12.6 %), and in cv. Bionic it increased at 30 mg/l (by 7.2 %), but decreased at 90 mg/l (by 7.4 %). The electron flux leading to the oxidation of the finile acceptor of PSI in the studied cultivars did not change under the influence of the stressor. However, the integral parameters of PSII activity (PI_{ABS} and PI_{ABS_total} indices) under stressful conditions were determined by the plant genotype. This indicates, firstly, the need for targeted selection (to a specific level of the stress factor); secondly, on the possibility of pyramiding of the integral level of resistance to the stressor by selecting parents who differ in the level of change in individual functional reactions of photosynthesis.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., chlorophyll fluorescence, reaction center, plastoquinone, electron transport, light energy flux, performance index

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

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

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

For citation: Lisitsyn E. M., Churakova S. A. Activity of photosystem II in spring barley leaves under action of manganese ions. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):66-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.66-76>

Received: 21.07.2022

Accepted for publication: 31.01.2022

Published online: 27.02.2023

Оценка параметров индукции быстрой флуоресценции хлорофилла *a* (*Chl a*) позволяет получить большой объем информации о работе фотосистемы II (PSII) за сравнительно короткое время (несколько минут). В последние годы измерение флуоресценции *Chl a* стало популярным методом оценки устойчивости работы фотосинтеза под влиянием различных стрессовых факторов [1, 2, 3]. Анализ переходных процессов флуоресценции *Chl a* позволяет рассчитывать структурные, конформационные и функциональные параметры, количественно определяющие поведение PSII при стрессах окружающей среды. Эти процессы используются для исследования потока переноса электронов от реакционных центров PSII к PSI через пластохиноны Q_A и Q_B.

Хорошо известно, что марганец является важным элементом, необходимым для роста и развития растений. В частности, Mn участвует в метаболических путях синтеза и распада хлорофилла в хлоропластах [4]; кислород-выделяющий комплекс фотосистемы II (PSII) имеет Mn-содержащее металлоферментное ядро, связывающееся с белком D1 реакционного центра PSII [5]. Однако избыток Mn считается одним из основных стрессовых факторов, препятствующих нормальному росту и развитию растений [6]. Высокие уровни Mn индуцируют накопление окисленной формы Q_A, блокируя перенос электронов далее этого пластохинона [7] и ухудшая работу всей транспортной цепи электронов со стороны донора PSII вплоть до конечных акцепторов PSI. Авторы считают, что чувствительность различных частей PSII к стрессовому воздействию варьирует, и эта реакция специфична для различных тяжелых металлов и является видозависимой.

Известно, что сельскохозяйственные почвы европейского северо-востока являются, в основном, подзолистыми и дерново-подзолистыми с низким естественным значением pH и высоким содержанием мобильных и общих форм марганца, вплоть до концентраций 233...486 мг/кг

почвы [8, 9], что соответствует 1,5...3,5 mM Mn. Эти значения превышают установленную ранее оптимальную концентрацию марганца для растений ярового ячменя (50 мг/кг) при их выращивании на дерново-подзолистых почвах [10]. Кроме того, как указывали А. В. Пасынков и др. [11], применение возрастающих доз азотных и калийных удобрений приводит к повышению концентрации подвижных форм марганца в пахотном слое подобных почв. Поскольку содержание марганца в пахотном слое почвы можно отнести к нерегулируемым факторам, оптимизация которых экономически и экологически неоправданна, то сорта зерновых культур, в частности ярового ячменя, должны обладать не только высокой потенциальной продуктивностью, но и устойчивостью к этому фактору [12]. Однако механизм токсичности Mn для PSII растений ярового ячменя остается в значительной степени неисследованным: первая работа, показавшая генотипические различия двух сортов ячменя по активности фотосинтетического аппарата при дефиците ионов марганца в условиях гидропонной культуры, была опубликована только в 2009 г. [13]. Эти же авторы изучали Mn-зависимые реакции PSII листьев ячменя сорта Antonia в полевых и вегетационных опытах [14] и указали, что четкие изменения в работе PSII при дефиците марганца проявляются ранее видимых симптомов угнетения растений. Отметим при этом, что, во-первых, вовлечение в исследование всего одного или двух сортов явно недостаточно для использования результатов работы в селекционной практике, во-вторых, на кислых дерново-подзолистых почвах с pH ниже 5,5 единиц дефицита марганца не существует, а основной проблемой становится его избыток.

Цель исследований – оценка влияния повышенных концентраций ионов марганца в среде роста (соответствующих их содержанию в пахотном слое дерново-подзолистых почв) на уровень некоторых параметров быстрой флуоресценции *Chl a* у шести сортов ярового ячменя.

Это позволяет дополнительно протестировать и, в конечном итоге, использовать в качестве родительских компонентов скрещивания потенциально более устойчивые к ионам марганца генотипы ярового ячменя.

Научная новизна. Проведена сравнительная оценка работы фотосистемы II листьев новых сортов ярового ячменя селекции Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ФАНЦ Северо-Востока) в условиях высокого содержания ионов марганца в среде роста. Впервые показано, что изменение интегрального показателя активности фотосистемы II листьев у изучаемых сортов ярового ячменя обеспечивается разными структурно-функциональными частями фотосистемы, при этом важную роль играет уровень стрессовой нагрузки.

Материал и методы. Для лабораторной оценки влияния ионов марганца на физиологические показатели устойчивости растений были использованы сорт Белгородский 100 селекции НПФ «Белселект» (стандарт ярового ячменя для Кировской области) и пять сортов ячменя селекции ФАНЦ Северо-Востока: Бионик, Боярин, Добряк, Фермер и Форвард. Растения выращивали в течение семи суток на дистиллированной воде, затем на полном питательном растворе Кнопа также в течение семи суток. Семена в количестве 35 штук помещали в рулоны из фильтровальной бумаги в 3-кратной повторности. Марганец вносили в питательную среду в виде соли $MnSO_4 \cdot H_2O$ в концентрации 30, 60 и 90 мг/л действующего вещества (д. в.). Контрольным фоном служил раствор Кнопа без добавления соли марганца. Концентрации ионов марганца соответствовали 0,5; 1,0 и 1,5 ПДК элемента (извлекаемого ацетатно-аммонийным буфером с pH 4,8) для дерново-подзолистых почв в соответствии с ГН 2.1.7.2041-06¹. Растения выращивали в естественных условиях освещения. Устойчивость ячменя к ионной токсичности марганца в среде культивирования оценивали по параметрам сухой массы корней, ростков, целого растения и соотношению сухих масс корней и ростков.

В конце опыта (14-й день) регистрировали параметры быстрой флуоресценции

хлорофилла *a* на листьях, адаптированных в течение 20 минут к темноте, на флуорометре Fluor Pen FP 110/S (Photon Systems Instruments, Czech Republic) согласно руководству производителя. Оценка проведена в 3-кратной повторности по каждому варианту опыта. Данные по интенсивности флуоресценции определяли в относительных единицах и далее использовались для расчета следующих параметров (в пересчете на один активный реакционный центр): ABS/RC – поток адсорбированной энергии, соответствующий величине эффективного размера антенны; TRo/RC – поток захваченной энергии, приводящий к окислению пластохинона Q_A (первичный акцептор PSII); ETo/RC – поток электронного транспорта от пластохинона Q_A к пластохинону Q_B ; DIo/RC – поток рассеянной энергии; RE/RC – электронный поток, приводящий к окислению конечного акцептора фотосистемы I. Кроме того, оценивали эффективность конвертирования энергии: от адсорбированного фотона до окисления переносчиков электрона по величине перфоманс-индекса PI_{ABS} , показателю функциональной активности PSII; от адсорбированного фотона до конечного акцептора PSI по перфоманс-индексу PI_{ABS_total} , показателю производительности фотосинтетического аппарата в целом.

Статистическую значимость отличий данных по вариантам опыта и долю влияния исследуемых факторов на варибельность оцениваемых параметров определяли с использованием двухфакторного дисперсионного анализа в программе Agros 2.05. Взаимосвязь между отдельными параметрами оценивали на основе коэффициентов парных корреляций Пирсона в программе Microsoft Office Excel 2013. В обеих процедурах обработки был принят уровень значимости $p \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Исследованные сорта ярового ячменя показали различную реакцию на ионы марганца по накоплению сухой массы. У трех сортов (Белгородский 100, Бионик и Фермер) не отмечено значимых изменений сухой массы корней ни в одном из вариантов опыта. Сорт Добряк не показал изменений в накоплении сухой массы ростков и общей массы растений, хотя масса корней значимо снижалась во всех вариантах внесения марганца (табл. 1).

¹Гигиенические нормативы ГН 2.1.7.2041-06. «Предельно-допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве». [Электронный ресурс]. URL: https://base.garant.ru/12144913/#block_1000 (дата обращения: 25.08.2022).

Таблица 1. Влияние ионов марганца на накопление сухой массы растениями ярового ячменя / Table 1. Influence of Mn ions on accumulation of dry mass in spring barley plants

Сорт / Cultivar	Mn ²⁺ , мг/л	Сухая масса, г / Dry mass, g			RSR
		корни / roots	надземная часть / shoots	общая / total	
Белгородский 100, ст. / Belgorodsky 100, st.	0	0,131 a	0,157 a	0,288 a	83,64 c
	30	0,137 a	0,199 bc	0,336 ab	68,96 a
	60	0,152 a	0,222 c	0,374 b	68,49 a
	90	0,134 a	0,175 ab	0,309 a	76,57 b
Боярин / Boyarin	0	0,265 c	0,315 b	0,580 bc	84,15 d
	30	0,215 a	0,286 a	0,501 a	75,11 b
	60	0,262 bc	0,331 b	0,593 c	79,12 c
	90	0,224 a	0,311 ab	0,535 ab	72,03 a
Форвард / Forward	0	0,213 b	0,299 b	0,512 b	71,27 a
	30	0,221 b	0,294 b	0,515 b	75,16 b
	60	0,243 c	0,304 b	0,547 b	79,92 c
	90	0,188 a	0,246 a	0,434 a	76,56 b
Фермер / Fermer	0	0,231 a	0,275 b	0,506 b	83,99 c
	30	0,200 a	0,280 b	0,480 b	71,45 a
	60	0,256 a	0,356 c	0,612 c	71,84 a
	90	0,199 a	0,247 a	0,446 a	80,64 bc
Добряк / Dobryak	0	0,304 c	0,334 a	0,638 a	91,06 c
	30	0,267 a	0,353 a	0,620 a	75,61 a
	60	0,267 a	0,352 a	0,619 a	75,83 a
	90	0,279 b	0,347 a	0,626 a	80,55 b
Бионик / Bionic	0	0,220 a	0,360 b	0,580 b	61,17 a
	30	0,234 a	0,300 a	0,534 ab	78,02 c
	60	0,202 a	0,282 a	0,484 a	71,65 b
	90	0,211 a	0,297 a	0,508 a	71,03 b

Примечания: RSR – массовое соотношение корни/ростки. Значения в вариантах, сопровождаемые одинаковыми латинскими буквами, не различаются значимо по критерию Дункана при $p \leq 0,05$ /

Notes: RSR – root-to-shoot ratio. Variants accompanied by the same Latin letters do not differ significantly according to the Duncan criterion at $p \leq 0.05$

В шести случаях отмечено повышение относительно контроля (0 мг/л Mn) массы корней (у сорта Форвард при 60 мг/л Mn), ростков (у сортов Белгородский 100 при 30 и 60 мг/л Mn; Фермер при 60 мг/л Mn), общей массы растений (при 60 мг/л Mn – у сортов Белгородский 100 и Фермер). Еще в 16 случаях отмечено статистически значимое снижение массы корней, ростков и общей массы. Для четырех сортов (Белгородский 100, Боярин, Фермер и Добряк) воздействие ионов марганца привело к перераспределению сухой массы в сторону ростков, для двух оставшихся сортов (Форвард и Бионик) – в сторону корневой системы.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа фактор «генотип» оказал

значительно большее влияние на изменение сухой массы корней (79,0 %), ростков (70,8 %) и общей массы (75,6 %), чем фактор «концентрация ионов марганца» – соответственно 4,3; 5,3 и 4,3 % и взаимодействие этих факторов – 9,3; 14,4 и 10,3 %. На перераспределение массы между корневой системой и ростками большое значение оказало взаимодействие факторов – 61,8 %, доля влияния генотипа была втрое ниже, чем на сухую массу – 24,5 %, а доля концентрации марганца, напротив, вдвое выше – 10,2 %.

Процессы, характеризующие фотосинтетическую активность PSII, можно описать с точки зрения специфических потоков энергии, рассчитанных на один активный реакционный центр (рис. 1).

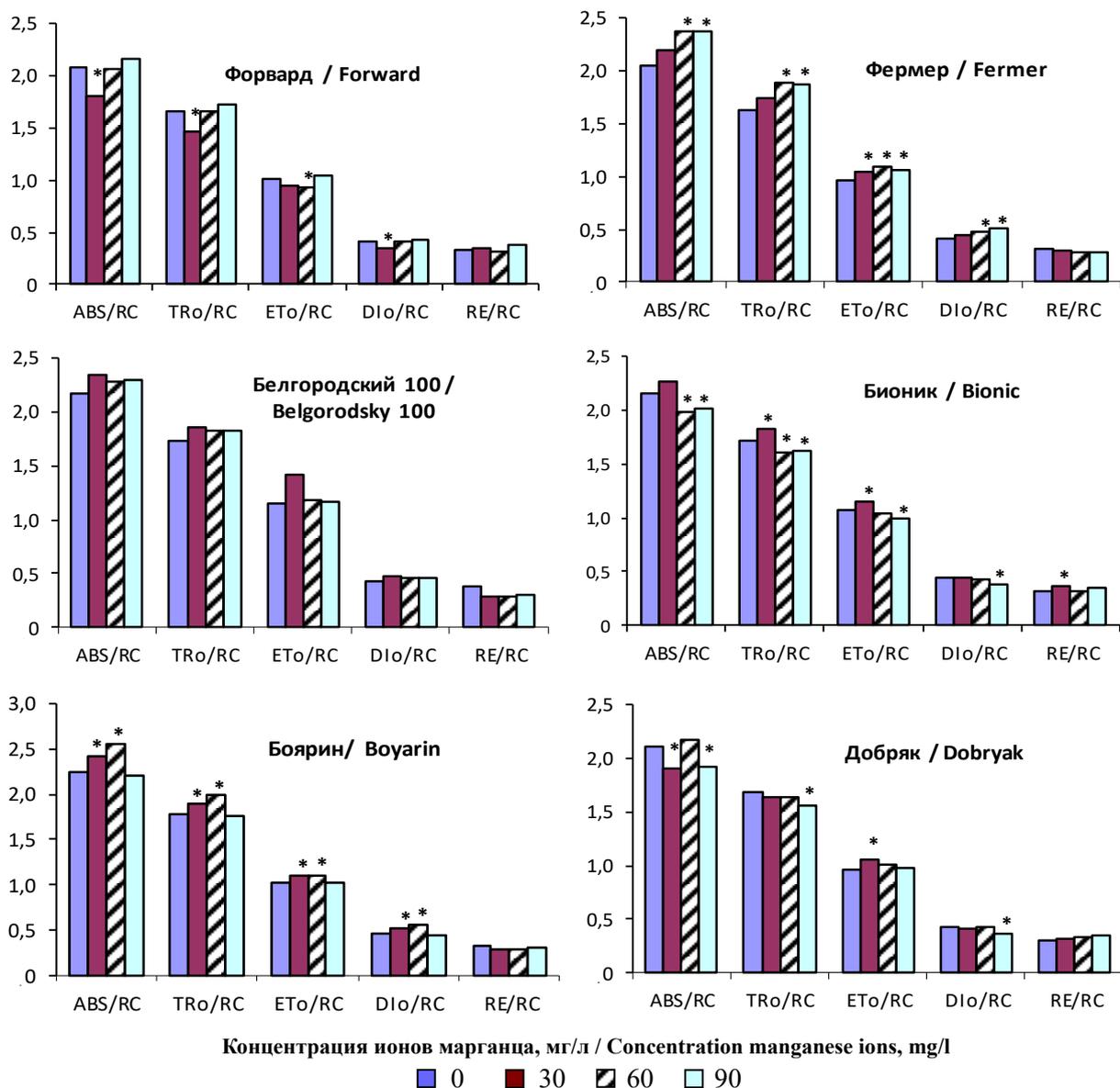


Рис. 1. Изменения специфических потоков энергии внутри фотосистемы II листьев ярового ячменя под воздействием различных концентраций ионов марганца. По оси ординат – условные единицы в пересчете на один активный реакционный центр; ABS/RC – поток адсорбированной энергии, TRo/RC – поток энергии, захваченный реакционным центром, ETo/RC – поток электронного транспорта, DIo/RC – поток энергии, рассеянной в виде тепла, RE/RC – электронный поток, приводящий к редукции конечного акцептора PSI;

* Отличия от контроля (0 мг/л Mn) статистически значимы при $p \leq 0,05$ /

Fig. 1. Changes in specific energy flows within photosystem II in spring barley leaves under the influence of manganese ions in various concentrations. Ordinate axis - arbitrary units in terms of one active reaction center. ABS/RC – absorbed energy flux, TRo/RC – trapped energy flux, ETo/RC – electron transport flux, DIo/RC – dissipation flux, RE/RC – electron flux leading to the reduction of the PSI finite acceptor;

* Differences from control (0 mg/l Mn) are statistically significant at $p \leq 0.05$

У сорта Белгородский 100 использованные концентрации марганца не привели к статистически значимому изменению ни одного из параметров специфических потоков энергии.

Поток энергии, поглощенный одним реакционным центром (ABS/RC), одновременно служит показателем размера антенных комплексов. Выращивание растений ячменя в присутствии 30 мг/л марганца привело к снижению

размера антенных комплексов у сортов Форвард (на 13,1 %) и Добряк (на 9,7 %), но к повышению его у сорта Боярин (на 7,9 %). При концентрации марганца 60 мг/л показатель ABS/RC увеличился у сортов Фермер (на 15,8 %) и Боярин (на 14,1 %), снизился у сорта Бионик (на 8,0 %). Максимальная концентрация марганца (90 мг/л) снизила уровень поглощения потока энергии антенными комплексами листьев

у сортов Бионик (на 6,8 %) и Добряк (на 9,0 %), но повысилась у сорта Фермер (на 16,1 %).

Непроизводительные расходы энергии (на излучение в виде тепла и флуоресценции – параметр D_{f0}/RC) возросли у сортов Фермер (при концентрации Mn 60 мг/л – на 16,5 %, 90 мг/л – на 23,1 %) и Боярин (при концентрации Mn 30 мг/л – на 13,7 %, 60 мг/л – на 20,7 %). В то же время отмечено снижение этих расходов под влиянием марганца: у сорта Форвард (при концентрации Mn 30 мг/л – на 18,9 %), сортов Бионик и Добряк (при концентрации Mn 90 мг/л – на 12,2 и 14,1 % соответственно).

Поток энергии, запасаемой в первичных фотохимических реакциях и обозначаемый как TR_o/RC , у растений, выросших при 30 мг/л марганца, усилился у сортов Бионик и Боярин (на 6,3 и 6,4 % соответственно), однако ослаб у сорта Форвард (на 11,7 %) относительно варианта без внесения марганца. Дальнейшее повышение содержания марганца в среде роста до 60 мг/л привело к увеличению параметра у сортов Фермер и Боярин (на 15,6 и 12,4 %), но к уменьшению у сорта Бионик (на 6,8 %). В варианте 90 мг/л у сорта Фермер отмечено повышение на 14,3 %, а у сортов Бионик и Добряк, наоборот, снижение этого потока (на 5,3 и 7,7 %).

В исследованном наборе сортов ячменя наибольшее влияние на поток ET/RC оказало наличие марганца в концентрации 30 мг/л. При таком воздействии рассматриваемый параметр повысился у четырех сортов: Фермер, Бионик, Боярин и Добряк (на 7,2...10,2 %). Повышение концентрации марганца до 60 мг/л отразилось на трех сортах; при этом у сортов Фермер и Боярин произошло увеличение параметра (на 12,6 и 8,7 %), а у сорта Форвард – снижение на 7,9 %. Концентрация марганца 90 мг/л отразилась всего на двух сортах – у сорта Фермер величина изучаемого потока повысилась на 8,8 %, а у сорта Бионик снизилась на 7,4 %.

В то же время электронный поток, приводящий к окислению конечного акцептора фотосистемы I (RE/RC), практически не испытывал влияния концентрации ионов марганца у исследованных сортов, за одним исключением: у сорта Бионик марганец в концентрации 30 мг/л привел к статистически значимому повышению данного параметра на 12,3 %.

Для общей характеристики фотосинтетической активности PSII предлагается использовать на практике перформанс-индекс PI_{ABS} [15],

суммирующий основные процессы, происходящие при адсорбции фотонов от антенных комплексов до вторичного акцептора электронов PSII (пластохинона Q_B): эффективность поглощения фотонов; эффективность захвата энергии возбуждения; эффективность использования энергии в электрон-транспортной цепи. В этой же работе авторами предложена модификация индекса, учитывающая эффективность передачи энергии на PSI (PI_{ABS_total}). Результаты расчета обоих индексов для исследованных сортов ячменя представлены на рисунке 2.

Исходя из данных рисунка 2, можно заключить, что сортовые реакции на ионы марганца по эффективности сохранения энергии при ее переносе внутри PSII (PI_{ABS}) и за ее пределами (PI_{ABS_total}) значительно различаются. При этом самая высокая концентрация марганца в среде роста (90 мг/л) привела к изменению первого параметра (PI_{ABS}) только у сорта Добряк, повысив его на 58 %. Концентрация Mn 60 мг/л отразилась на четырех сортах из шести: привела к увеличению значения параметра у сортов Фермер и Белгородский 100 (на 9,3 и 8,5 %), у сорта Бионик (на 24,9 %) и снижению у сорта Боярин (на 35,6 %). В то же время присутствие марганца в концентрации 30 мг/л отразилось на уровне параметра PI_{ABS} у всех сортов: Форвард, Фермер, Бионик и Добряк повысили параметр на 21,2-35,7 %, а Белгородский 100 и Боярин, наоборот, понизили на 9,6 и 21,8 %.

Индекс PI_{ABS_total} у сорта Форвард повысился в варианте 30 мг/л (на 45,4 %), но снизился в варианте 60 мг/л (на 17,5 %). У сорта Белгородский 100 произошло снижение индекса при 30 и 60 мг/л марганца на 48,7 и 31,7 % соответственно. Повышение индекса отмечено у сорта Фермер только в варианте с концентрацией марганца 30 мг/л (на 32 %). У сорта Бионик отмечено повышение величины индекса во всех вариантах воздействия марганца на 26,9...38,3 %, тогда как у сорта Боярин – наоборот, снижение его на 25,0...56,8 %. Марганец в концентрации 30 мг/л повысил величину индекса у сорта Добряк на 20,2 %, а в концентрации 90 мг/л – на 95,2 %. При этом концентрация 60 мг/л не привела к отклонению от нулевого варианта.

На изменчивость величин большинства параметров потоков энергии основное влияние оказывал фактор «генотип» (табл. 2).

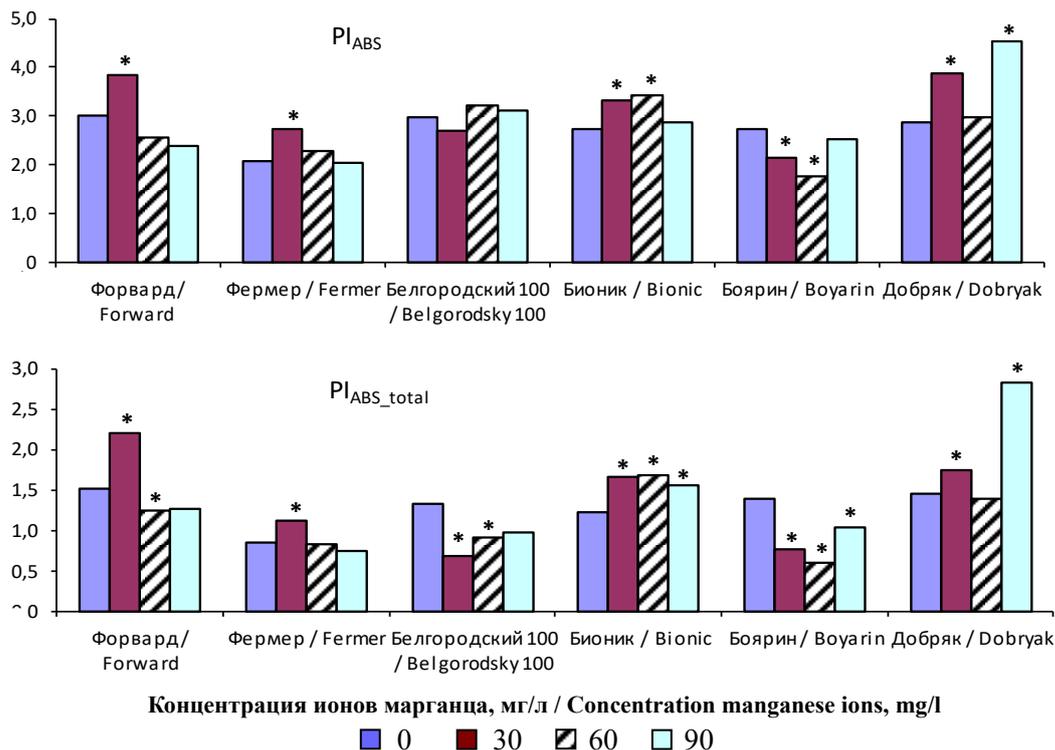


Рис. 2. Изменения перформанс-индексов фотосистемы II листьев ярового ячменя под воздействием различных концентраций ионов марганца. По оси ординат – условные единицы; PI_{ABS} – эффективность конвертирования энергии от адсорбированного фотона до окисления переносчиков электрона, PI_{ABS_total} – эффективность конвертирования энергии от адсорбированного фотона до конечного акцептора PSI;

* Отличия от контроля (0 мг/л Mn) статистически значимы при $p \leq 0,05$ /

Fig. 1. Changes in performance-indices of photosystem II in spring barley leaves under the influence of manganese ions in various concentrations. Ordinate axis - arbitrary units; PI_{ABS} – efficiency of energy conversion from absorbed photon to oxidation of electron carriers, PI_{ABS_total} – efficiency of energy conversion from absorbed photon to finite PSI acceptor;

* Differences from control (0 mg/l Mn) are statistically significant at $p \leq 0.05$

Таблица 2. Доля влияния факторов на изменчивость показателей работы PSII в листьях ярового ячменя, % /
Table 2. Proportion of influence of factors on variability of PSII activity parameters in spring barley leaves, %

Показатель / Parameter	Фактор / Factor		
	генотип / genotype	концентрация Mn / concentration of Mn	взаимодействие / interaction
ABS/RC	29,0	н.з.	н.з.
TRo/RC	30,1	н.з.	н.з.
ETo/RC	27,5	н.з.	н.з.
DIo/RC	21,4	н.з.	н.з.
RE/RC	н.з.	8,7	30,4
PI _{ABS}	24,3	н.з.	25,0
PI _{ABS_total}	30,6	5,6	34,6

Примечание: н.з. – влияние фактора статистически незначимо при $p \leq 0,05$ /

Note: н.з. – the influence of the factor is statistically insignificant at $p \leq 0.05$

Исключение составил параметр RE/RC – электронный поток, приводящий к окислению конечного акцептора фотосистемы I – на его изменчивость повлияли фактор «концентрация марганца» и взаимодействие факторов; прямого влияния генотипа не выявлено. На изменчивость величин параметров обоих перфор-

манс-индексов в одинаковой степени влияли генотип и взаимодействие факторов.

Фактор «концентрация марганца» достоверно повлиял только на два параметра: RE/RC – электронный поток, приводящий к окислению конечного акцептора фотосистемы I в пересчете на один активный реакционный

центр; PI_{ABS_total} – перфоманс-индекс, показывающий эффективность конвертирования энергии от адсорбированного фотона до конечного акцептора PSI, показатель производительности фотосинтетического аппарата в целом.

Были рассчитаны коэффициенты парных корреляций между параметрами накопления биомассы растений и параметрами работы фотосистемы II листьев. Выявлено изменение набора коррелирующих параметров при изменении уровня стрессовой нагрузки. Так, в контрольном варианте без внесения ионов марганца отмечены статистически значимые (при $p \leq 0,05$) корреляционные связи между накоплением сухой массы корней (СМК), ростков (СМР), общей сухой массы (ОСМ) и величинами электронного потока, приводящего к редукции конечного акцептора PSI (RE/RC): $r = -0,877 \dots -0,939$.

При наложении марганцевого стресса (30 мг/л Mn) выявлены статистически значимые корреляции СМК, СМР и ОСМ с величиной потока рассеиваемой (диссипированной) энергии (DIO/RC): $r = 0,875 \dots 0,916$. Максимальный поток захваченных экситонов (TRo/RC) коррелировал только с величиной СМР ($r = 0,826$). Ни один из параметров быстрой флуоресценции не коррелировал с перераспределением биомассы растений между корневой системой и надземной массой (RSR).

При усилении уровня стрессового фактора до 60 мг/л отмечены значимые взаимосвязи индекса перераспределения биомассы RSR и параметра ETo/RC ($r = 0,935$). При дальнейшем усилении стрессового фактора (90 мг/л Mn) статистически значимых связей между изучаемыми параметрами не выявлено. Таким образом, усиление действия стрессового фактора с 30 до 90 мг/л Mn приводило к снижению прямого влияния уровня активности фотосистемы II на накопление биомассы растений ярового ячменя исследуемых сортов.

Полученные нами данные о влиянии ионов марганца на активность фотосистемы II листьев ярового ячменя дают основание усомниться в правильности выводов [14] о видоспецифичности реакции разных частей PSII на стрессовое воздействие Mn. Как показали наши исследования (см. рис. 1), отдельные сорта ярового ячменя могут повышать уровни потоков энергии (ABS/RC, TRo/RC, DIO/RC и ETo/RC) в ответ на воздействие ионов марганца, в то время как другие сорта этого же вида – наоборот, снижать. Более того, выявился один

сорт (Белгородский 100), не показавший статистически значимых изменений уровней этих потоков энергии при действии всех исследованных концентраций ионов марганца. Аналогично, не отмечено закономерного влияния повышения концентрации стрессового фактора на величину этих параметров: так, ионы марганца в концентрации 30 мг/л повысили величину TRo/RC (относительно контроля) у сорта Бионик, а в концентрации 60 и 90 мг/л – наоборот, понизили. У сорта Боярин ионы марганца в концентрациях 30 и 60 мг/л повышали уровни потоков ABS/RC, TRo/RC, DIO/RC и ETo/RC; в то же время марганец в концентрации 90 мг/л не оказал статистически значимого влияния на растения этого сорта.

Повышение величин параметров ABS/RC, TRo/RC, по мнению [16, 17], указывает на инактивацию определенной части реакционных центров (РЦ) фотосистем, что может быть связано с депрессией работы кислород-выделяющего комплекса, а также с превращением активных РЦ в неактивные из-за увеличения размера антенных комплексов. Основываясь на подобных подходах, можно предположить, что сорта Форвард, Бионик и Добряк в условиях действия ионов марганца являются более перспективными для выращивания (у них наблюдается повышение доли активных реакционных центров и усиление работы кислород-выделяющих комплексов), чем сорта Боярин и Фермер (у которых ионы марганца в большей степени вызвали инактивацию части реакционных центров фотосистемы II). Данные параметры работы PSII ранее были использованы для выделения засухоустойчивых генотипов сои [18], подсолнечника [19] и маша [20].

Высказано мнение [7, 21], что усиление потоков ETo/RC указывает на то, что неактивные РЦ предотвращают свое дальнейшее повреждение и защищают соседние активные РЦ от повреждающего действия поглощенной световой энергии. Наши данные свидетельствуют о том, что подобная активность проявляется в виде реакции на ионы марганца в концентрации 30 мг/л для четырех из шести исследованных сортов ярового ячменя, но потоки ETo/RC могут снижаться с повышением концентрации марганца до 60 (сорт Форвард) и 90 мг/л (сорт Бионик). Таким образом, и по этому параметру мы обнаруживаем значительное внутривидовое (межсортовое) разнообразие. Это заключение подтверждают результаты двухфакторного дисперсионного анализа (см. табл. 2): все четыре

параметра энергетических потоков не испытывали влияния концентрации марганца, влиял только фактор «генотип».

Индекс PI_{ABS} , который считается очень чувствительным показателем функциональности PSII в стрессовых условиях [22, 23], значительно повысился у сортов Форвард, Фермер, Бионик и Добряк при воздействии 30 мг/л марганца, что указывает на высокую устойчивость фотосинтетического аппарата этих сортов к данному стрессу. Аналогичное повышение индекса отмечено для сорта Бионик в варианте воздействия 60 мг/л марганца, а у сорта Добряк – при 90 мг/л марганца. Единственный сорт, снизивший функциональную активность PSII при 30 и 60 мг/л марганца (т. е. проявил себя как неустойчивый) – сорт Боярин.

В отличие от первого индекса, при использовании индекса PI_{ABS_total} неустойчивость к стрессору продемонстрировали сорта Форвард (60 мг/л Mn), Белгородский 100 (30 и 60 мг/л Mn) и Боярин (при 90 мг/л Mn). В то же время сорт Бионик показал статистически значимое повышение уровня индекса в варианте 90 мг/л Mn. Таким образом, хотя принципиальных изменений в характере устойчивости к стрессору при использовании второго индекса практически не выявлено, тем не менее, он дает чуть более точную характеристику сортов.

Оба индекса примерно в равной степени изменяются под влиянием фактора «генотип» и взаимодействия факторов «генотип» и «концентрация марганца» (индекс PI_{ABS} в меньшей степени, чем PI_{ABS_total}), но при этом чистое влияние фактора «концентрация марганца» проявляется только для второго индекса, составляя 5,6 %. Данный факт может говорить о том, что, несмотря на генотипические различия в реакции отдельных структурно-функциональных частей PSII на разные концентрации марганца, интегральные показатели активности всей фотосистемы в стрессовых условиях (в пределах 0...90 мг/л Mn) практически полностью определяются генотипом растений. Можно согласиться с мнением [24] о том, что данные индексы могут быть полезными при предварительной оценке больших наборов селекционного и коллекционного материала. Генотипы с более высоким уровнем PI_{ABS} или PI_{ABS_total} имеют преимущества в энергосбережении в условиях стресса и предпочтительны при отборе. В изученном нами сортовом наборе ярового ячменя такими сортами могут считаться Форвард, Бионик и Добряк.

Заключение. Не отмечено закономерных видоспецифичных изменений оцениваемых параметров от воздействия марганца в среде роста. Так, способность антенных комплексов PSII к захвату энергии возбуждения под воздействием металла может как усиливаться (сорта Форвард, Добряк и Бионик), так и ослабевать (сорт Боярин). Непроизводительные расходы энергии возросли у сортов Фермер и Боярин, но снизились у сортов Форвард, Бионик и Добряк. Аналогичная картина наблюдалась и для потока энергии, запасаемой в первичных фотохимических реакциях.

Влияние конкретной концентрации стрессового агента также не было закономерным. Электронный транспорт ETo/RC, приводящий в конечном итоге к фиксации CO₂, усилился под влиянием марганца в концентрации 90 мг/л у сорта Фермер, но снизился у сорта Бионик. Также значительно различаются сортовые реакции на ионы марганца по эффективности сохранения энергии при ее переносе внутри PSII (PI_{ABS}) и за ее пределами (PI_{ABS_total}). Индекс PI_{ABS} значительно возрос у сорта Бионик, но очень сильно снизился у сорта Боярин под влиянием марганца в концентрации 60 мг/л. Индекс PI_{ABS_total} у сорта Форвард повысился в варианте 30 мг/л (на 45,4 %), но снизился в варианте 60 мг/л (на 17,5 %).

Воздействие на растения ионов Mn привело к изменению набора взаимосвязанных параметров флуоресценции хлорофилла *a* и накопления биомассы растений, характерного для нормального состояния растений. С усилением действия стрессового фактора происходило снижение прямого влияния уровня активности фотосистемы II на накопление биомассы растений ярового ячменя исследуемых сортов.

Исходя из вышеизложенного можно предположить, что изменение интегрального показателя активности фотосистемы II листьев у разных сортов ярового ячменя происходит за счет разных функциональных реакций, при этом уровень стрессового фактора также играет важную роль. Это говорит, во-первых, о необходимости проведения адресной селекции (к конкретному уровню действующего фактора), во-вторых, о возможности пирамидирования интегрального уровня устойчивости к стрессору путем подбора родителей, отличающихся по уровню изменения отдельных функциональных реакций фотосинтеза.

References

1. Dorsaf A., Anis B.-A., Chedly A. Leaf photosynthesis, chlorophyll fluorescence and ion content of barley (*Hordeum vulgare*) in response to salinity. *Journal of Plant Nutrition*. 2018;41(4):497-508. DOI: <https://doi.org/10.1080/01904167.2017.1385811>
2. Kalaji H. M., Rastogi A., Živčák M., Brestic M., Daszkowska-Golec A., Sitko K., Alsharafa K. Y., Lotfi R., Stypiński P., Samborska I. A., Cetner M. D. Prompt chlorophyll fluorescence as a tool for crop phenotyping: an example of barley landraces exposed to various abiotic stress factors. *Photosynthetica*. 2018;56(3):953-961. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11099-018-0766-z>
3. Rapacz M., Wójcik-Jagła M., Fiust A., Kalaji H. M., Kościelniak J. Genome-wide associations of chlorophyll fluorescence oip transient parameters connected with soil drought response in barley. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:78. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00078>
4. Matile P. H., Hortensteiner S., Thomas H., Krautler B. Chlorophyll breakdown in senescent leaves. *Plant Physiology*. 1996;112(4):1403-1409. DOI: <https://doi.org/10.1104%2Fpp.112.4.1403>
5. Paul S., Neese F., Pantazis D. A. Structural models of the biological oxygen-evolving complex: achievements, insights, and challenges for biomimicry. *Green Chemistry*. 2017;19:2309-2325. DOI: <https://doi.org/10.1039/C7GC00425G>
6. Rayen M., Reyes-Díaz M., Ivanov A. G., Mora M. L., Alberdi M. Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2010;10(4):470-481. DOI: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162010000200008>
7. Liang H. Z., Zhu F., Wang R. J., Huang X.-H., Chu J.-J. Photosystem II of *Ligustrum lucidum* in response to different levels of manganese exposure. *Scientific Reports*. 2019;9:12568. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-019-48735-8>
8. Шихова Л. Н., Зубкова О. А. Изменение содержания подвижных соединений Mn в подзолистых почвах в течение вегетационного периода. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2012;2(27):35-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17532819> EDN: OTRLFX
- Shikhova L. N., Zubkova O. A. Modification of mobile manganese content in the podzolic soils during growth season. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2012;2(27):35-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17532819>
9. Зубкова О. А. Динамика содержания кислоторастворимых соединений марганца в подзолистых почвах. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;44(1):46-52. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22856651> EDN: TGEMDP
- Zubkova O. A. Modification of acid-soluble manganese content in the podzolic soils. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;44(1):46-52. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22856651>
10. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Оптимальные для растений параметры кислотности дерново-подзолистой почвы. *Агрохимия*. 1997;(6):9-26.
- Nebolsin A. N., Nebolsina Z. P. Optimal parameters of acidity of sod-podzolic soil for plants. *Agrokhimiya*. 1997;(6):9-26. (In Russ.).
11. Пасынков А. В., Светлакова Е. В., Котельникова Н. В., Абашев В. Д., Пасынкова Е. Н., Садакова Г. Г., Баландина С. А., Дунышева Г. И., Рублева Н. В., Татарина М. С. Влияние длительного применения минеральных удобрений на плодородие дерново-подзолистой почвы, продуктивность севооборота и качество зерна. *Агрохимия*. 2016;(10):38-47. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27169477> EDN: WWOHIV
- Pasynkov A. V., Svetlakova E. V., Kotelnikova N. V., Abashev V. D., Pasynkova E. N., Sadakova G. G., Balandina S. A., Dunyasheva G. I., Rubleva N. V., Tatarinova M. S. The influence of long-term application of fertilizers on fertility of soddy-podzolic soil, productivity of crop rotation and grain quality. *Agrokhimiya*. 2016;(10):38-47. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27169477>
12. Родина Н. А., Щенникова И. Н., Кокина Л. П. Реакция новых сортов ячменя на различные приемы технологии. *Достижения науки и техники АПК*. 2009;8:14-16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12979727> EDN: KYAXUR
- Rodina N. A., Shchennikova I. N., Kokina L. P. Reaction of barley varieties on the different methods technology. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2009;8:14-16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12979727>
13. Husted S., Laursen K. H., Hebbert C. A., Schmidt S. B., Pedas P., Haldrup A., Jensen P. E. Manganese deficiency leads to genotype-specific changes in fluorescence induction kinetics and state transitions. *Plant Physiology*. 2009;150(2):825-833. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.108.134601>
14. Schmidt S., Pedas P., Laursen K., Schjoerring J., Husted S. Latent manganese deficiency in barley can be diagnosed and remediated on the basis of chlorophyll a fluorescence measurements. *Plant and Soil*. 2013;372:417-429. DOI: <https://doi.org/10.1007/s1104-013-1702-4>

15. Giorio P., Sellami M. H. Polyphasic OKJIP chlorophyll a fluorescence transient in a landrace and a commercial cultivar of sweet pepper (*Capsicum annuum* L.) under long-term salt stress. *Plants*. 2021;10(5):887. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10050887>
16. Yusuf M. A., Kumar D., Rajwanshi R., Strasser R. J., Tsimilli-Michael M., Govindjee, Sarin N. B. Overexpression of γ -tocopherol methyl transferase gene in transgenic *Brassica juncea* plants alleviates abiotic stress: physiological and chlorophyll a fluorescence measurements. *BBA-Bioenergetics*. 2010;1797(8):1428-1438. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bbabi.2010.02.002>
17. Mlinarić S., Dunić J. A., Babojelić M. S., Cesar V., Lepeduš H. Differential accumulation of photosynthetic proteins regulates diurnal photochemical adjustments of PSII in common fig (*Ficus carica* L.) leaves. *Journal of Plant Physiology*. 2017;209:1-10. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2016.12.002>
18. Ergo V. V., Veas R. E., Vega C. R. C., Lascano R., Carrera C. S. Leaf photosynthesis and senescence in heated and droughted fieldgrown soybean with contrasting seed protein concentration. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2021;166:437-447. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.06.008>
19. Markulj Kulundžić A., Kovačević J., Viljevac Vuletić M., Josipović A., Liović I., Mijić A., Lepeduš H., Matoša Kočar M. Impact of abiotic stress on photosynthetic efficiency and leaf temperature in sunflower. *Poljoprivreda*. 2016;22(2):17-22. DOI: <https://doi.org/10.18047/poljo.22.2.3>
20. Bano H., Athar H., Zafar Z. U., Kalaji H. M., Ashraf M. Linking changes in chlorophyll a fluorescence with drought stress susceptibility in mung bean [*Vigna radiata* (L.) Wilczek]. *Physiologia Plantarum*. 2020;172(2):1244-1254. DOI: <https://doi.org/10.1111/ppl.13327>
21. Singh S., Prasad S. M. Effects of 28-homobrassinoloid on key physiological attributes of *Solanum lycopersicum* seedlings under cadmium stress: Photosynthesis and nitrogen metabolism. *Plant Growth Regulation*. 2017;82:161-173. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10725-017-0248-5>
22. Pavlović I., Mlinarić S., Tarkowska D., Oklestkova J., Novak O., Lepeduš H., Vujčić Bok V., Radić Brkanac S., Strnad M., Salopek-Sondi B. Early Brassica crops responses to salinity stress: A comparative analysis between Chinese cabbage, white cabbage, and kale. *Frontiers in Plant Science*. 2019;10:450. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.00450>
23. Mihaljević I., Viljevac Vuletić M., Šimić D., Tomaš V., Horvat D., Josipović M., Zdunić Z., Dugalić K., Vuković D. Comparative study of drought stress effects on traditional and modern apple cultivars. *Plants*. 2021;10(3):561. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10030561>
24. Matoša Kočar M., Josipović A., Sudarić A., Duvnjak T., Viljevac Vuletić M., Marković M., Markulj Kulundžić A. Chlorophyll a fluorescence as tool in breeding drought stress-tolerant soybean. *Journal of Central European Agriculture*. 2022;23(2):305-317. DOI: <https://doi.org/10.5513/jcea01/23.2.3437>

Сведения об авторах

✉ **Лисицын Евгений Михайлович**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3125-3604>, e-mail: edaphic@mail.ru

Чуракова Светлана Алексеевна, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0003-3900-5258>

Information about the authors

✉ **Eugeny M. Lisitsyn**, DSc in Biology, leading researcher, Head of the Department, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-3125-3604>, e-mail: edaphic@mail.ru

Svetlana A. Churakova, junior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3900-5258>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль

© 2023. О. В. Левакова 

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

Изучение эффективности применения возрастающих доз минеральных удобрений ($N_{16}P_{16}K_{16}...N_{120}P_{120}K_{120}$) проводили в 2020-2022 гг. в условиях Рязанской области на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве среднего уровня плодородия. Объект исследований – новый сорт ячменя ярового Рафаэль, включенный в Государственный реестр РФ по Центральному (3) и Волго-Вятскому (4) регионам в 2022 г. (патент № 12254). В результате исследований выявлен положительный тренд увеличения урожайности сорта Рафаэль от возрастающих доз NPK ($y = 0,1829x + 6,36$, $R^2 = 0,8866$). В среднем за годы исследований минимальной урожайностью (6,50 т/га) характеризовался контрольный вариант ($N_{16}P_{16}K_{16}$), максимальной (7,40 т/га) – вариант с внесением высоких доз ($N_{120}P_{120}K_{120}$). Прибавку урожая на 0,6...0,9 т/га обеспечили минеральные удобрения в дозах $N_{45}P_{45}K_{45}...N_{120}P_{120}K_{120}$. Урожайность ячменя в год с достаточной влагообеспеченностью вегетационного периода (ГТК = 1,39) получена на 4,6-5,1 % выше, чем в засушливые годы (ГТК = 0,63-0,53). Структурный анализ урожайности указывает на то, что в опыте на урожай данного сорта повлияли длина колоса ($r = 0,689$), число зерен в колосе ($r = 0,467$), масса зерна с колоса ($r = 0,715$). Возрастающие дозы вносимых удобрений привели к увеличению площади листовой поверхности растений и высоты продуктивного стеблестоя. Наибольшее содержание белка в зерне ячменя отмечено в варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ (в среднем 14,1 %), минимальное – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (в среднем 13,2 %). Расчет экономической эффективности показал, что наибольшего условно чистого дохода (69413 руб/га) и уровня рентабельности (187,1 %) при урожайности нового сорта Рафаэль 7,1 т/га можно достичь при внесении умеренных доз удобрений $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare L.*, Рязанская область, урожайность, площадь листовой поверхности, структурные элементы продуктивности, экономическая эффективность

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. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):77-85. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.77-85>

Поступила: 27.10.2022

Принята к публикации: 13.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The effect of increasing doses of mineral fertilizers on productivity and structural indicators of Raphael spring barley new variety

© 2023. Olga V. Levakova 

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

Study of the effectiveness of the use of increasing doses of mineral fertilizers ($N_{16}P_{16}K_{16}...N_{120}P_{120}K_{120}$) was carried out in 2020-2022 in the conditions of the Ryazan region on dark gray forest heavy loamy soil of average fertility. The object of the research was a new variety of spring barley Raphael, included into the State Register of the Russian Federation for the Central (3) and Volga-Vyatka (4) Regions in 2022 (patent No. 12254). As the result of the research, there was revealed a positive trend for raising the yield of the Raphael variety resulted from the use of increasing doses of NPK ($y = 0.1829x + 6.36$, $R^2 = 0.8866$). On average, over the years of the research, the minimum yield productivity (6.50 t/ha) was shown by the control variant ($N_{16}P_{16}K_{16}$), the variant with application of high doses ($N_{120}P_{120}K_{120}$) had the maximum productivity (7.40 t/ha). The yield increase by 0.6...0.9 t/ha was provided by mineral fertilizers in doses of $N_{45}P_{45}K_{45}...N_{120}P_{120}K_{120}$. The yield of barley per year with sufficient moisture supply during the growing season (HTC = 1.39) was 4.6-5.1 % higher than in dry years (HTC = 0.63-0.53). Structural analysis of yield indicates that during the experiment, the yield of this variety has been influenced by the length of the ear ($r = 0.689$), the number of grains in the ear ($r = 0.467$), the weight of grain per the ear ($r = 0.715$). Increasing doses of applied fertilizers led to an increase in the leaf surface area of plants and the height of the productive stems. The highest protein content in barley grain was observed in the variant with the use of $N_{120}P_{120}K_{120}$ (on average 14.1 %), the minimum – with the application of $N_{16}P_{16}K_{16}$ (on average 13.2 %). The calculation of economic efficiency showed that the highest conditional net income (69413 rubles/ha) and the level of profitability (187.1 %) with the yield of the new Raphael variety of 7.1 t/ha can be achieved by applying medium doses of fertilizers $N_{45}P_{45}K_{45}$.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., Ryazan region, yield productivity, leaf surface area, structural elements of productivity, economic efficiency

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

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

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

For citation: Levakova O. V. The effect of increasing doses of mineral fertilizers on productivity and structural indicators of Raphael spring barley new variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):77-85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.77-85>

Received: 27.10.2022

Accepted for publication: 13.01.2023

Published online: 27.02.2023

Ячмень является одной из основных сельскохозяйственных культур среди злаков. Его значение достаточно велико в основном за счет многообразия его использования [1, 2, 3].

Одной из наиболее важных задач агропромышленного комплекса России является укрепление кормовой базы фуражными культурами, в первую очередь ячменем. Для этого необходимо не только развивать животноводческую отрасль, но также обеспечить ее зерном, т. к. на кормовые цели уходит до 2/3 его валовых сборов [4, 5, 6].

Изменения климата, наблюдающиеся в последние годы в Нечерноземной зоне РФ [7], и выведение новых сортов ячменя ярового оставляют по-прежнему актуальным вопрос оптимизации условий выращивания культуры. Надёжный путь повышения урожайности – внедрение интенсивных технологий выращивания, значительную долю в которых занимает обеспечение полноценного питательного режима. Особую актуальность приобретает определение доз и норм минеральных удобрений, сочетаний и соотношений питательных элементов в них для получения высоких урожаев в конкретных почвенно-климатических условиях [8, 9, 10].

Формирование урожая и интенсивность биохимических процессов в созревающем зерне ячменя зависят от обеспеченности растений элементами питания, прежде всего азотом, фосфором и калием [11, 12].

Минеральные удобрения оказывают значительное воздействие на почву, в частности, внесение NPK способствует сохранению органического вещества почвы, повышает уровень содержания основных элементов питания, обеспечивает повышение урожайности сельскохозяйственных культур [13, 14, 15].

Необходимо учитывать и то условие, что отечественные сельхозпроизводители на первый план выдвигают экономическую целесообразность агротехнологий: ориентир не на рекордные урожаи любой ценой при высоких дозах использования удобрений, а на доход,

который будет получен с гектара сельскохозяйственных угодий [16, 17].

Цель исследований – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на продуктивность и структурные показатели нового сорта ячменя ярового Рафаэль и на основе расчета экономической эффективности выявить оптимальную дозу внесения основного удобрения.

Научная новизна проводимых исследований заключается в том, что впервые установлены закономерности влияния различных доз минеральных удобрений (NPK) на урожайность нового сорта ячменя ярового Рафаэль на темно-серых лесных почвах Рязанской области.

Материал и методы. Изучение эффективности применения возрастающих доз минеральных удобрений (NPK) проводили на базе Института семеноводства и агротехнологий (ИСА – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ) в 2020-2022 гг. в условиях полевого опыта на темно-серой лесной тяжелосуглинистой почве со средним уровнем плодородия (содержание органического вещества – 5,60 %, рН_{сол.} – 4,88 ед., P₂O₅ (по Кирсанову) – 378 мг/кг почвы, K₂O – 275 мг/кг почвы).

Объект исследований – новый сорт ячменя ярового Рафаэль, включенный в Государственный реестр по Центральному (3) и Волго-Вятскому (4) регионам в 2022 г. Патент № 12254 [18].

Закладку опыта проводили в оптимальные сроки сева культуры для Нечерноземной полосы Центрального региона по предшественнику «пар». Учетная площадь делянки 10 м², повторность четырехкратная. Норма высева – 5,0 млн всхожих семян на 1 га. В опытах использовали комплексное удобрение – азофоска (N:P:K = 16:16:16). Схема опыта предусматривала следующие варианты:

1. N₁₆P₁₆K₁₆ (контроль).
2. N₃₀P₃₀K₃₀.
3. N₄₅P₄₅K₄₅.
4. N₆₀P₆₀K₆₀.
5. N₉₀P₉₀K₉₀.
6. N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀.

Внесение удобрений проводили весной под предпосевную культивацию.

Анализ структуры урожая, статистическая обработка экспериментальных данных методами дисперсионного и корреляционного анализа проведены с использованием соответствующих методик¹ с помощью компьютерной программы Microsoft Office Excel. Гидротермический коэффициент (ГТК) рассчитывали по Г. Т. Селянинову², балл устойчивости растений ячменя к развитию болезней и полеганию по Методическим указаниям по изучению мировой коллекции ячменя и овса³ (где 1 балл – устойчивость очень низкая; 3 – устойчивость низкая; 5 – средняя; 7 – высокая; 9 – очень высокая).

В фазу «кущение» проводили обработку баковой смесью гербицидов (Балерина, СЭ –

0,4 л/га + Магнум, ВДГ – 7 г/га) с добавлением инсектицида Борей, СК – 0,1 л/га. Элементы структуры урожая определяли со снопового материала с учетных площадок, взятых с площади 0,25 м² в 4 повторениях. Уборку делянок проводили в фазу «полная спелость» культуры комбайном Сампо 130, урожайные данные приводили к стандартной 14%-ой влажности. Качественные показатели зерна (содержание крахмала и белка) определяли методом инфракрасной спектроскопии на анализаторе цельного зерна Infratec 1241.

По метеорологическим данным ИСА-филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, рассчитаны показатели средней дневной температуры воздуха и суммы осадков по основным месяцам вегетации ярового ячменя Рафаэль (табл. 1).

Таблица 1 – Условия вегетации ярового ячменя сорта Рафаэль (2020-2022 гг.) / Table 1 – Growing conditions of spring barley Raphael variety (2020-2022)

Год / Year	Показатель / Indicator	Май / May			Июнь / June			Июль / July		
		декада / decade								
		I	II	III	I	II	III	I	II	III
2020	Осадки, мм / Precipitation, mm	27,7	8,1	21,3	71,0	11,7	30,2	17,9	31,2	6,4
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	14,7	11,9	15,5	18,9	23,1	20,6	24,6	21,3	21,7
2021	Осадки, мм / Precipitation, mm	26,9	6,6	9,0	62,5	6,6	3,2	9,7	-	31,4
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	12,8	21,2	17,4	18,1	22,5	28,9	25,0	29,6	23,2
2022	Осадки, мм / Precipitation, mm	19,6	16,4	13,6	17,1	15,6	8,0	-	8,7	7,3
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	12,3	12,4	15,4	20,7	20,9	22,5	25,4	22,1	24,4
Средне-голетнее / Average long-term	Осадки, мм / Precipitation, mm	11,0	12,0	14,0	16,0	17,0	19,0	20,0	22,0	22,0
	Температура воздуха, °C / Air temperature, °C	10,7	12,8	14,6	15,8	16,6	17,4	18,3	18,9	19,3

Из всех периодов наблюдений наиболее контрастным отмечен 2020 год, когда растения ячменя развивались в условиях обильных осадков, с резкими колебаниями среднесуточных температур. Неблагоприятно повлияли выпавшие в 1-ой декаде июня (ГТК = 3,9) осадки,

которые спровоцировали раннее прикорневое полегание растений ячменя еще до наступления фазы «колошение». ГТК вегетационного периода составил 1,34. Засушливыми условиями вегетационных периодов ячменя отличались 2021 и 2022 год при ГТК 0,63 и 0,53 соответственно.

¹Доспехов 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.

²Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;(20):165-177.

³Методические указания по изучению мировой коллекции ячменя и овса. Сост. М. В. Лукьянова, Н. А. Родионова, А. Я. Трофимовская. Л.: ВИР, 1981. 31 с.

Результаты и их обсуждение. Внесение минеральных удобрений оказало существенное влияние на урожайность нового сорта ячменя ярового Рафаэль по годам исследований. Мак-

симальные значения урожайности получены в увлажненном 2020 году, в среднем по опыту 7,22 т/га, что на 4,6-5,1 % выше показателей в сухие годы (2021-2022 гг.) (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность ячменя сорта Рафаэль по годам исследований в зависимости от внесенных доз NPK, т/га /

Table 2 – Yield of barley Raphael variety according to the years of research, depending on the doses of NPK, t/ha

<i>Вариант / Variant</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>	<i>2022 г.</i>
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ (контроль) / (control)	6,85	6,41	6,30
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	6,55	6,73	6,60
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	7,35	6,96	6,85
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	7,45	6,89	7,20
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	7,55	6,93	7,10
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	7,59	7,21	7,33
Среднее / Average	7,22	6,85	6,89
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,31	0,16	0,14

В результате исследований выявлен положительный тренд увеличения средней

урожайности сорта Рафаэль от возрастающих доз NPK ($y = 0,1829x + 6,36$, $R^2 = 0,8866$) (рис. 1).

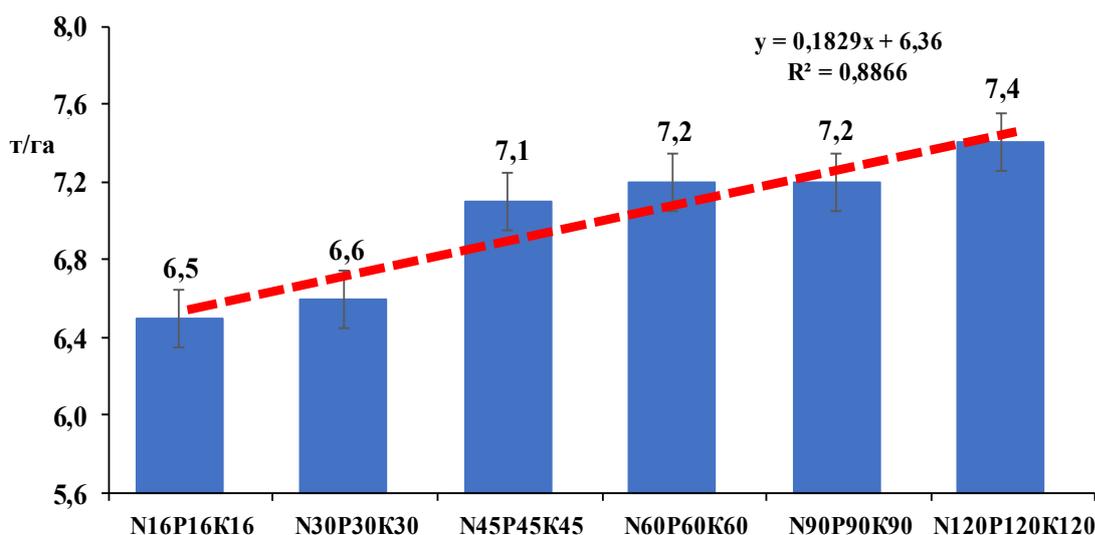


Рис. 1. Средняя урожайность нового сорта ярового ячменя Рафаэль в зависимости от внесенных доз NPK (2020-2022 гг.) /

Fig. 1. Average yield of Raphael spring barley new variety depending on NPK doses (2020-2022)

При увеличении внесенных доз NPK урожайность сорта возрастала относительно контроля: на 1,5 % (N₃₀P₃₀K₃₀); 9,2 % (N₄₅P₄₅K₄₅); 10,8 % (N₆₀P₆₀K₆₀ и N₉₀P₉₀K₉₀); 13,8 % (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀).

В формировании величины урожая и его качества большая роль принадлежит листовому аппарату. Возрастающие дозы минеральных удобрений способствовали увеличению площади листовой поверхности ячменя (рис. 2).

Прослеживается взаимосвязь увеличения площади листовой поверхности от вносимых доз NPK на протяжении всего периода роста

и развития сорта Рафаэль. В фазу «кущение» площадь листовой поверхности одного растения находилась в пределах от 9,8 (N₁₆P₁₆K₁₆) до 12,1 см²/раст. (N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀), аналогичная тенденция прослеживалась и в фазу «выход в трубку» – от 20,1 до 24,2 см²/раст. соответственно. Наибольшая площадь листовой поверхности одного растения достигала в фазу «колошение» (45,4-48,3 см²/раст.), достигая максимального значения при дозах удобрений N₉₀P₉₀K₉₀-N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ – 47,9-48,3 см²/раст.

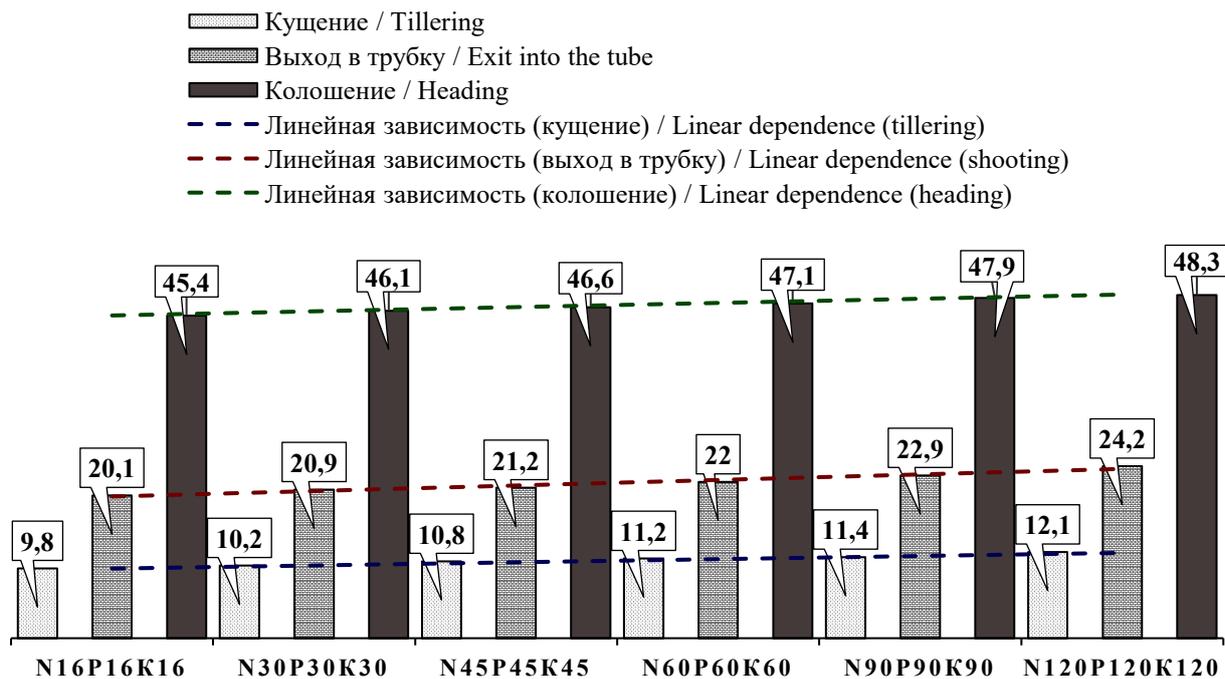


Рис. 2. Площадь листовой поверхности нового сорта ярового ячменя Рафаэль в зависимости от внесенных доз NPK, см²/раст. (в среднем за 2020-2022 гг.) /

Fig. 2. The leaf surface area of the new variety of spring barley Raphael, depending NPK doses, cm²/plant (average for 2020-2022)

В таблице 3 представлены структурные показатели продуктивности, влияющие на урожайность сорта Рафаэль.

Структурный анализ урожайности при различных дозах NPK-удобрений указывает на то, что в опыте на урожай данного сорта повлияли длина колоса, число зерен в колосе, масса зерна с колоса ($r = +0,467...+0,715$).

Уборочный индекс ($K_{хоз}$, %), определяемый как соотношение массы зерновой части и убираемой соломы, является показателем аттракции пластических веществ из соломы в зерно. Максимальные показатели данного индекса (53,1 %) получены в варианте $N_{90}P_{90}K_{90}$, при этой дозе получены высокие значения показателей «длина колоса» (7,6 см) и «число зерен в колосе» (23,1 шт.).

При возрастании доз вносимых NPK увеличивается высота сорта Рафаэль, но это практически не повлияло на полегаемость растений (табл. 4).

Согласно полученным данным, увеличение доз вносимых удобрений ($N_{90}P_{90}K_{90}$ - $N_{120}P_{120}K_{120}$) оказывало сильное влияние на рост и развитие растений ярового ячменя, которое проявилось в увеличении листовой поверхности растений и высоты продуктивного

стеблестоя, за счет чего изменялись микроклиматические и световые условия посева. Это, в свою очередь, отразилось на небольшом усилении развития листовых заболеваний – на 0,2-0,3 балла. Как показали расчеты, вносимые удобрения оказывали существенное влияние на содержание белка в зерне ячменя во все годы исследований. Максимальные значения белка зафиксированы в варианте с внесением $N_{120}P_{120}K_{120}$ (14,1 % в среднем), минимум – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (в среднем 13,2 %).

В последние годы, в связи со сложными экономическими условиями, на первое место при оценке эффективности использования сортов выходит окупаемость затрат на их возделывание. Расчет экономической эффективности, исходя из рыночной стоимости продукции (при продаже фуражного зерна ячменя по стоимости 15 000 руб. за тонну), производственных затрат и урожайности, представленных в таблице 5, показал, что при возделывании нового сорта Рафаэль при внесении дозы $N_{45}P_{45}K_{45}$ получен наибольший условно чистый доход – 69413 руб/га, уровень рентабельности составил 187,1 %. При увеличении доз вносимых минеральных удобрений рентабельность возделывания сорта резко падает.

Таблица 3 – Структурный анализ ярового ячменя сорта Рафаэль при различных дозах NPK (в среднем 2020-2022 гг.) / Table 3 – Structural analysis of Raphael spring barley at various NPK doses (average for 2020-2022)

Вариант / Variant	Кол-во продуктивных стеблей, шт/м ² / Number of productive stems, pcs / m ²	Продуктивная кустированность / Productive bushiness	Длина колоса, см / Ear length, cm	Число 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	K _{вос} , % / K _{хоз} , %
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ (контроль) / (control)	978±47	3,2±0,26	7,0±0,40	20,6±0,8	0,96±0,05	43,1±2,1	48,8±0,8
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	912±19	3,2±0,03	7,3±0,01	20,4±0,3	0,93±0,05	43,1±3,3	50,1±2,3
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	932±30	3,1±0,09	7,1±0,23	20,2±0,3	0,96±0,01	43,2±1,6	51,5±1,4
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	870±54	3,1±0,26	7,4±0,26	20,7±0,1	0,99±0,01	43,2±2,8	51,2±1,1
N ₆₀ P ₉₀ K ₉₀	870±59	3,1±0,38	7,6±0,17	23,1±0,8	1,04±0,01	42,7±2,1	53,1±2,1
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	980±14	3,3±0,10	7,5±0,20	21,5±0,1	1,00±0,04	43,4±3,7	51,5±1,8
Среднее	924±20	3,2±0,04	7,3±0,09	21,0±0,4	0,98±0,02	43,1±0,1	51,0±0,6
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	14,1	0,13	0,23	1,3	0,12	0,14	0,82
Коррелируемые с урожайностью показатели, r / Indicators correlated with yield productivity, r							
+0,886	-0,230	-0,067	+0,689*	+0,467*	+0,715*	+0,166	+0,820*
Коррелируемые с дозой NPK показатели, r / Indicators correlated with NPK dose, r							
x	-0,041	+0,285*	+0,825*	+0,6670*	+0,759*	+0,099	+0,739*

* Доверительная вероятность P ≥ 0,95 / * Confidence probability P ≥ 0,95

Таблица 4 – Влияние доз NPK на устойчивость к полеганию, болезням и качественные показатели зерна сорта ячменя Рафаэль (в среднем 2020-2022 гг.) / Table 4 – The effect of NPK doses on lodging, disease resistance and quality indicators of Raphael barley grain (average for 2020-2022)

Вариант / Variant	Высота, см / Height, cm	Устойчивость к полеганию, балл / Resistance to lodging, points	Устойчивость к болезням, балл / Disease resistance, points			Содержание в зерне, % / Content in grain, %	
			мучиная роса / powdery mildew	темно-бурая пятнистость/ dark brown spotting	сетчатая пятнистость / mesh spotting	белок / protein	крахмал / starch
N ₁₆ P ₁₆ K ₁₆ (контроль) / (control)	67±1,7	8,5±1,2	8,0±0,3	7,0±0,2	7,0±0,4	13,2±0,1	52,4±0,3
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	68±1,5	8,5±1,2	8,0±0,4	7,0±0,2	7,0±0,4	13,4±0,1	52,2±0,2
N ₄₅ P ₄₅ K ₄₅	67±0,1	8,5±1,0	8,0±0,4	6,8±0,4	7,0±0,4	13,6±0,2	52,6±0,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	70±2,9	8,4±1,0	8,0±0,4	6,8±0,3	6,8±0,3	13,6±0,1	52,2±0,1
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	71±1,1	8,4±1,1	7,8±0,3	6,7±0,4	6,7±0,3	13,7±0,2	52,3±0,2
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	73±1,2	8,3±1,2	7,8±0,3	6,7±0,3	6,7±0,3	14,1±0,2	52,3±0,2

Таблица 5 – Экономическая эффективность внесенных доз NPK при возделывании ячменя сорта Рафаэль (2020-2022 гг.) /

Table 5 – Economic efficiency of introducing various NPK doses in the cultivation of the Raphael variety (2020-2022)

Показатель / Indicator	$N_{16}P_{16}K_{16}$ (контроль) / (control)	$N_{30}P_{30}K_{30}$	$N_{45}P_{45}K_{45}$	$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{90}K_{90}$	$N_{120}P_{120}K_{120}$
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	6,5	6,6	7,1	7,2	7,2	7,4
Прибавка урожайности, т/га / Yield increase, t/ha	-	+0,1	+0,6	+0,7	+0,7	+0,9
Средняя цена зерна, руб/т / Average grain price, rub/t	15000	15000	15000	15000	15000	15000
Стоимость продукции, руб/га / Cost of the product, rub/ha	97500	99000	106500	108000	108000	111000
Производственные затраты, руб/га / Production costs, rub/ha	32581	34759	37087	39428	44097	48766
Себестоимость зерна, руб/т / Net cost of grain, rub/t	5012	5266	5223	5476	6124	6590
Условно чистый доход, руб/га / Conditional net income, rub/ha	64919	64241	69413	68572	63903	62234
Уровень рентабельности, % / Profitability level, %	199,2	184,8	187,1	173,9	144,9	127,6

Заключение. На основании проведенных исследований установлено, что увеличение доз минеральных удобрений на темно-серых лесных тяжелосуглинистых по гранулометрическому составу почвах Рязанской области повышает урожайность и качественные показатели фуражного зерна нового сорта ярового ячменя Рафаэль. Лучшие результаты получены при внесении доз $N_{45}P_{45}K_{45}$ (7,1 т/га)... $N_{120}P_{120}K_{120}$ (7,4 т/га), что увеличивает прибавку урожая на 0,6...0,9 т/га относительно контрольного варианта $N_{16}P_{16}K_{16}$ (6,50 т/га). Определено статистически значимое влияние показателей «длина колоса», «число зерен в колосе», «масса зерна с колоса» ($r = 0,467...0,715$) на урожайность

данного сорта. Высокое содержание белка в зерне ячменя наблюдали в варианте $N_{120}P_{120}K_{120}$ (в среднем 14,1 %), минимальное – при внесении $N_{16}P_{16}K_{16}$ (в среднем 13,2 %). Расчет экономической эффективности показал, что при возделывании нового сорта ячменя Рафаэль наибольший условно чистый доход (69413 руб/га) и уровень рентабельности (187,1 %) получены в варианте с внесением умеренных доз удобрений $N_{45}P_{45}K_{45}$. При увеличении доз вносимых минеральных удобрений рентабельность возделывания сорта снижалась, особенно резко от применения повышенных доз ($N_{90}P_{90}K_{90}$ - $N_{120}P_{120}K_{120}$).

Список литературы

1. Темирбекова С. К., Афанасьева Ю. В., Куликов И. М., Ковалева О. Н., Ионова Н. Э. Исходный материал для селекции ярового ячменя в центральной нечерноземной зоне. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019;(6):19-23. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/6/19-23> EDN: QFAUWD
2. Nakala K., Jauhainen L., Rajala A. A., Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. Field Crops Research. 2020;259:107956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>
3. Смулов С. И., Наумкин В. Н., Ермолаев С. Н. Урожайность и качество зерна ярового ячменя в зависимости от различных предшественников и фонов минерального питания. Вестник аграрной науки. 2020;(2(83)):36-44. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36> EDN: GYVEMG
4. Благополучная О. А. Влияние различных доз минеральных удобрений на формирование урожая кормовых культур. Новые технологии. 2017;(3):69-73. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30542152> EDN: ZSJEZN
5. Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г. Влияние минеральных удобрений на урожайность и качество сельскохозяйственных культур в длительном стационарном опыте в климатических условиях Предуралья. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2020;(5):5-17. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-5-5-17> EDN: FLTQEI

6. Попов Ф. А., Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Эффективность возрастающих доз минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя сорта Новичок. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2021;22(2):254-263. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263> EDN: AFGGFD
7. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Болдырев М. А., Гладышева О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. Юг России: экология, развитие. 2022;17(1):128-135. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-128-135> EDN: APZPOW
8. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Влияние биологической интенсификации на баланс элементов питания дерново-подзолистых почв в полевых севооборотах. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):527-537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537> EDN: NBIIIM
9. 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>
10. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Schefe 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>
11. 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> EDN: BSOZZS
12. Абашев В. Д., Светлакова Е. В. Влияние минеральных удобрений на урожайность культур зернопаротравяного севооборота. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2015;(2):37-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23113617> EDN: TLURKR
13. 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> EDN: ZDUDNP
14. Филатов А. Н., Мазуров В. Н., Храмой В. К., Арланцева Е. Р. Влияние способов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность и качество зерна ярового ячменя сорта Владимир в условиях центрального района Нечерноземной зоны. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2021;(1):18-28. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-18-28> EDN: FZSJZN
15. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б. Экономико-экологическая эффективность адаптивной системы удобрения ярового ячменя. Юг России: экология, развитие. 2021;16(3):95-101. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-95-101> EDN: VQWTYT
16. Левакова О. В., Гладышева О. В. Влияние минеральных удобрений на продуктивность нового сорта ярового ячменя Знатный в Нечерноземной зоне РФ. *Зерновое хозяйство России*. 2021;4(76):86-90. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-86-90> EDN: HBUURA
17. 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> EDN: SQZMMU
18. Ерошенко Л. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Ромахин М. М., Гладышева О. В., Левакова О. В., Дедушев И. А., Лапочкина И. Ф., Ромахина В. В. Ячмень яровой Рафаэль: пат. № 12254 от 17.06.2022: патентообладатель ФГБНУ ФИЦ «Немчиновка», ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»; зарегистр. в Государственном реестре охраняемых селекционных достижений 17.09.2022.

References

1. Temirbekova S. K., Afanasyeva Yu. V., Kulikov I. M., Kovaleva O. N., Ionova N. E. Base line for selection of spring barley in central nonchernosemic region. *Vestnik rossiyской sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2019;(6):19-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2019/6/19-23>
2. Hakala K., Jauhiainen L., Rajala A. A., Jalli M., Kujala M., Laine A. Different responses to weather events may change the cultivation balance of spring barley and oats in the future. *Field Crops Research*. 2020;259:107956. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.107956>
3. Smurov S. I., Naumkin V. N., Ermolaev S. N. Yield and quality of spring barley grain in dependence on various predecessors and backgrounds of mineral nutrition. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2020;(2(83)):36-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.36>
4. Blagopoluchnaya O. A. influence of various doses of mineral fertilizers on the formation of the yield of fodder crops. *Novye tekhnologii* = New technologies. 2017;(3):69-73. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30542152>
5. Zavyalova N. E., Shishkov D. G. Effect of mineral fertilizers on crop quality and yield in long-term stationary experiment in the climatic conditions of the Cis-Urals. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2020;(5):5-17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-5-5-17>

6. Popov F. A., Kozlova L. M., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Effectiveness of increasing doses of mineral fertilizers in the cultivation of spring barley of the Novichok variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2):254-263. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.254-263>

7. Levakova O. V., Dedushev I. A., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Boldyrev M. A., Gladysheva O. V. Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: ecology, development*. 2022;17(1):128-135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-128-135>

8. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Influence of biological intensification on the balance of sod-podzolic soil nutrient elements in field crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(4):527-537. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.527-537>

9. 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>

10. Nordblom T. L., Hutchings T. R., Sclafani 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>

11. 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>

12. Abashev V. D., Svetlakova E. V. Influence of mineral fertilizers on productivity of grain-fallow-grass crop. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2015;(2):37-43. (In Russ.).

URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23113617>

13. 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>

14. Filatov A. N., Mazurov V. N., Khrumov V. K., Arlantseva E. R. Effect of tillage methods and levels of mineral nutrition on yield and grain quality of the “Vladimir” spring barley variety in the Central region of the Non-chernozem zone. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;(1):18-28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-18-28>

15. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B. Ekonomiko-ekologicheskaya effektivnost' adaptivnoy sistemy udobreniya yarovogo yachmenya. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie = South of Russia: ecology, development*. 2021;16(3):95-101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2021-3-95-101>

16. Levakova O. V., Gladysheva O. V. The effect of mineral fertilizers on productivity of the new spring barley variety ‘Znatny’ in the non-blackearth part of the Russian Federation. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2021;(4):86-90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-76-4-86-90>

17. Lapshin Yu. A., Maksimov V. A., Zolotareva R. I. The influence of agroclimatic 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>

18. Eroshenko L. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Romakhin M. M., Gladysheva O. V., Levakova O. V., Dedushev I. A., Lapochkina I. F., Romakhina V. V. Spring barley Raphael: pat. No. 12254 17.06.2022: patent holder is FRC “Nemchinovka, Federal Scientific Agroengineering Center VIM; registered in the State Register of Protected Breeding Achievements 17.09.2022

Сведения об авторе

Ольга Викторовна Левакова, 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. Подвьязь, 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 State Budgetary Scientific Institution «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



Сорта смородины красной челябинской селекции в условиях Среднего Урала и их антиоксидантные показатели

© 2023 Е. М. Чеботок ✉

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

Уникальная научная установка коллекции живых растений открытого грунта «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» на Свердловской селекционной станции садоводства насчитывает порядка 2 тыс. сортообразцов и 80 тыс. гибридов плодовых и ягодных культур, из них смородины красной – 45 сортообразцов. В статье представлены результаты изучения 10 сортов смородины красной селекции Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства в условиях Свердловской области (Средний Урал). Сложившиеся погодные условия в период исследований (2019–2022 гг.) сказались на сроках прохождения фенологических фаз сортов смородины красной. В 2019 году начало распускания почек отмечено в период с 20 по 25 апреля, начало цветения – с 5 по 20 мая. В 2020–2021 годах начало распускания почек наблюдали в период с 18 по 25 апреля, начало цветения – с 8 по 13 мая. Начало созревания ягод в 2020 году приходилось на период с 14 по 16 июля, в 2021 году – с 6 по 8 июля. В 2022 году начало распускания почек зафиксировано с 26 апреля по 1 мая, начало цветения – с 16 по 18 мая, начало созревания – с 16 по 18 июля. Сдвиг по датам наступления основных фаз вегетации может достигать 10 дней от среднесезонных значений. Получены предварительные результаты коллекционного изучения сортов челябинской селекции. В среднем за 3 года плодоношения наибольшая продуктивность отмечена у сортов Йота и Ogni Урала – 1,07 кг/куст. У сортов Капиталина, Йота, Ильинка, Бета ягоды крупные, средней массой 0,6...0,7 г, максимальной – 1,0...2,0 г. Десертным вкусом отличались сорта Йота, Альфа, Алая зорька, Капиталина, Лучезарная, Бета, Эпсилон. Высокое содержание антиоксидантов в ягодах смородины красной выявлено у сортов Лучезарная, Ильинка, Эпсилон – 10,99...12,65 ммоль/дм³ экв.

Ключевые слова: сортоизучение, Уральский регион, урожайность, товарные качества ягод, антиоксидантная активность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН» (тема № 0532-2021-0008).

Автор благодарит сотрудников ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет» за совместное проведение исследований по определению общей антиоксидантной активности ягод в рамках Договора о сотрудничестве в сфере научно-исследовательской деятельности №2 от 20.07.2021 г.

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

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Чеботок Е. М. Сорта смородины красной челябинской селекции в условиях Среднего Урала и их антиоксидантные показатели. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):86-94.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.86-94>

Поступила: 15.12.2022 Принята к публикации: 07.02.2022 Опубликована онлайн: 27.02.2023

Varieties and antioxidant indices of red currant of Chelyabinsk breeding in the conditions of the Middle Urals

© 2023. Elena M. Chebotok ✉

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Ekaterinburg, Russian Federation

The unique scientific installation of the collection of live plants in the open ground "Gene pool of fruit, berry and ornamental crops in the Middle Urals" at the Sverdlovsk Breeding Station of Horticulture has about 2 thousand varieties and 80 thousand hybrids of fruit and berry crops, of which 45 varieties are red currant. The article presents the results of study of 10 red currant varieties of the South-Ural Scientific Research Institute of Horticulture and Potatoes in the conditions of the Sverdlovsk Region (Middle Urals). The prevailing weather conditions during the research period (2019–2022) affected the timing of the passage of the phenological phases of red currant varieties. In 2019 the beginning of bud break was noted from the 20th of April to the 25th of April, the beginning of flowering – from the 5th of May to the 20th of May. In 2020–2021, the beginning of bud break was observed from April, 18th to April, 25th; the beginning of flowering – from May, 8th to May, 13th. The beginning of ripening of berries in 2020 fell on the period from July, 14th to July, 16th; in 2021 – from July, 6th to July, 8th. In 2022, the beginning of bud break was recorded from April, 26th to May, 1st, the beginning of flowering – from May, 16th to May, 18th, the beginning of ripening – from July, 16th to July, 18th. The shift in the dates of the onset of the main phases of vegetation can reach 10 days from the average long-term values. Preliminary results of a collection study of varieties of Chelyabinsk breeding have been obtained. On average, over 3 years of fruiting, the highest productivity was noted on the varieties Jota and Ogni Urala – 1.07 kg/bush. The highest mass of berries was noted in the varieties Kapitalina, Jota, Il'inka, Beta:

average – 0.6...0.7 g, maximum – 1.0...2.0 g. The varieties Jota, Al'fa, Alaya zor'ka, Kapitalina, Luchezarnaya, Beta, Epsilon differed in dessert taste. The highest content of antioxidants in red currant berries was found in varieties Luchezarnaya, Il'inka, Epsilon – 10.99...12.65 mmol/dm³ eq.

Key words: *variety study, Ural region, productivity, commercial qualities of berries, antioxidant activity*

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science (theme No. 0532-2021-0008).

The author thanks the staff of the Ural State Economic University of for joint research to determine the total antioxidant activity of berries under the Agreement on cooperation in the field of research activities No. 2 dated July 20, 2021.

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

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

For citation: Chebotok E. M. Varieties and antioxidant indices of red currant of Chelyabinsk breeding in the conditions of the Middle Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):86-94. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.86-94>

Received: 15.12.2022

Accepted for publication: 07.02.2022 Published online: 27.02.2023

На Свердловской селекционной станции садоводства – структурном подразделении ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр УрО РАН» (ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН) функционирует Уникальная научная установка (УНУ) коллекции живых растений открытого грунта «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» [1]. Коллекция постоянно пополняется, сохраняются наиболее ценные образцы. В целом она насчитывает порядка 2 тыс. сортообразцов и 80 тыс. гибридов плодовых и ягодных культур, из них смородины красной – 45 сортообразцов. В коллекции смородины красной имеются сортообразцы селекции научных учреждений Российской Федерации: ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур» (ФГБНУ ВНИИСПК), ФГБНУ «Федеральный Алтайский научный центр агробиотехнологий» (ФГБНУ ФАНЦА), Южно-Уральский научно-исследовательский институт садоводства и картофелеводства (ЮУНИИСК – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН), АО «Новосибирская зональная станция садоводства»; Республики Беларусь: РУП «Институт пловозводства»; Украины: Институт садоводства НААН Украины, а также из Нидерландов, США, Китая.

Смородина красная – актуальная культура не только для любительского, но и промышленного садоводства на Среднем Урале [2, 3]. Она нетребовательна в уходе, дает ежегодные обильные урожаи, насаждения ее более долговечны по сравнению со смородиной черной [4]. Ягоды смородины красной содержат большое количество биологически активных веществ: аскорбиновую и фолиевую кислоты, биотин, водорастворимые биофлавоноиды, катехины, пектиновые и дубильные вещества [5, 6, 7], кумарины [8], макро- и микроэлементы [9].

В Южно-Уральском научно-исследовательском институте садоводства и картофелеводства (г. Челябинск) работу по селекции красной смородины вел доктор с.-х. наук Ильин Владимир Сергеевич в отделе селекции ягодных культур [10]. Скрещивания проводились на межвидовом уровне, использовались сорта, производные от *Ribes vulgare Lam. var. macrocarpum* (Фейя плодородная), *R. vulgare L.* (Каскад), *R. Pubescens* (Hedl.) (Чулковская), *R. vulgare Lam. var. macrocarpum* x *R. rubrum L.* (Йонкер ван Тетс), *R. Palczewskii* (Ранняя Фаворской). Сорта Альфа, Бета, Йота, Эпсилон, Капиталина произошли из семьи Чулковская x Каскад, сорт Ильинка – от свободного опыления сорта Йонкер ван Тетс, сорт Дзета – Чулковская x Ранняя Фаворской, Алая зорька – Чулковская x Фейя плодородная, сорта Лучезарная и Огни Урала – от свободного опыления сорта Фейя плодородная [11, 12, 13].

Цель исследования – по результатам коллекционного сортоизучения оценить адаптацию сортов смородины красной челябинской селекции к условиям Свердловской области (Средний Урал), их хозяйственно ценные признаки и антиоксидантную активность ягод.

Научная новизна – впервые в условиях Среднего Урала изучены сорта смородины красной челябинской селекции по хозяйственно ценным признакам, фенологическим ритмам и содержанию антиоксидантов в ягодах.

Материал и методы. Объекты исследований – 10 сортов смородины красной селекции ЮУНИИСК – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Опыт осенней закладки 2017 года. Схема посадки 3x1 м. Контроль – районированный по Волго-Вятскому региону сорт Огни Урала.

Опытные участки расположены на восточном склоне в 5° протяженностью с севера на юг, на богаре. Почва участков – дерново-слабо-неглубоко-подзолистая среднедерновая, слабо-мелкокаменистая, среднесуглинистая, среднекислая (рН_{сол.} – 5,1-5,5), окультуренная.

Исследования проводили согласно общепринятой методике по сортоизучению¹.

Статистическая обработка данных выполнена методами дисперсионного анализа и статистической характеристики количественной изменчивости в соответствии с методикой полевого опыта².

Для определения общей антиоксидантной активности ягод использовали метод инверсионной потенциометрии³, в основе которого лежит химическое взаимодействие антиоксидантов с медиаторной системой K₃[Fe(CN₆)]/K₄[Fe(CN₆)], которое приводило

к изменению ее окислительно-восстановительного потенциала.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия за период исследования (от начала вегетации до окончания плодоношения) были контрастными и нестандартными для Среднего Урала (рис. 1), что сказалось на сроках и особенностях прохождения фенологических фаз, аналогично со смородиной черной [14]. В 2019 году начало распускания почек отмечено в период с 20 по 25 апреля, начало цветения – с 5 по 20 мая. Отмечено подмерзание цветков в период набухания почек на сортах Альфа, Дзета, Эпсилон – сказалось резкое похолодание до -11 °С с выпадением осадков в виде снега (16...17 апреля отмечен временный снежный покров после теплой погоды: температура воздуха днем поднималась до +18,5 °С).

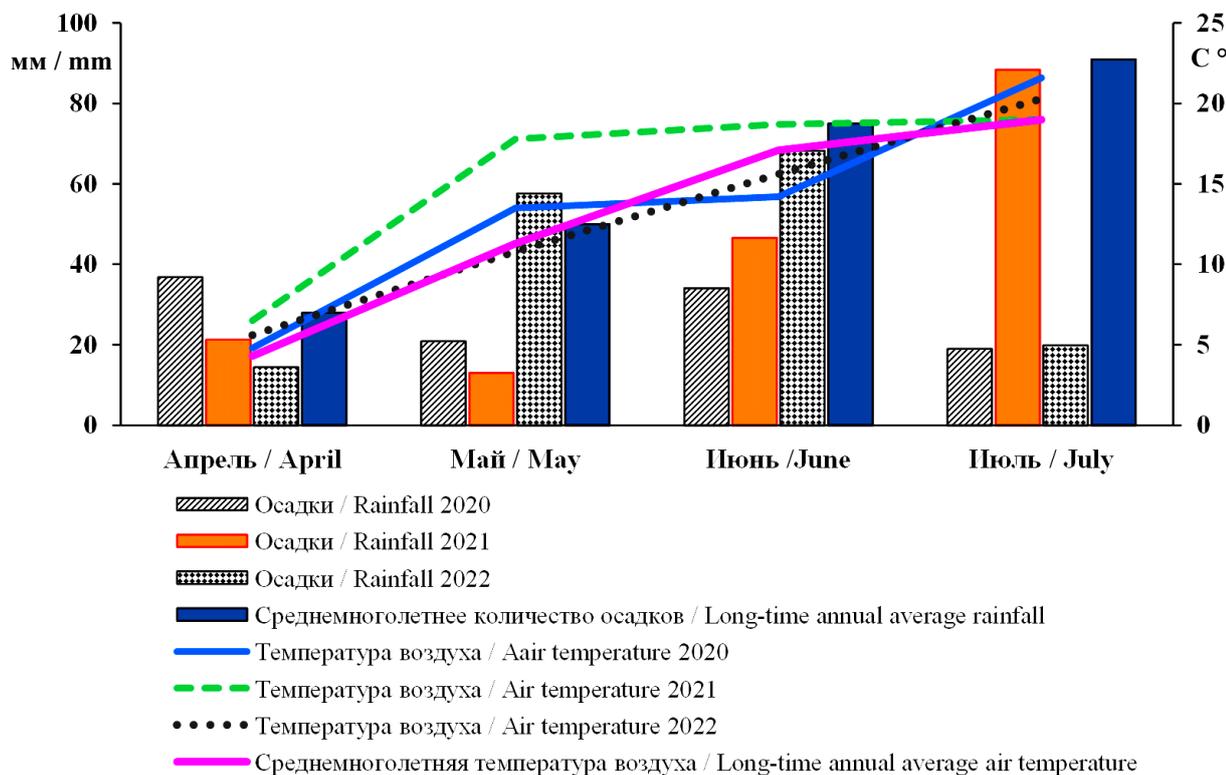


Рис. 1. Погодные условия в период вегетации смородины красной (апрель-июль 2020-2022 гг., Свердловская область, данные Автоматической метеостанции WXT530 Свердловской CCC) /

Fig. 1. Weather conditions during the growing season of red currant (April-July 2020-2022, Sverdlovsk region, data from the Automatic weather station WXT530 of the Sverdlovsk BSH)

¹Программа и методика сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур. Орел: изд-во Всероссийского НИИ селекции плодовых культур, 1999. 608 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований). Изд. 4-е, перераб. и доп. М.: Колос, 1979. 416 с.

³Puganen A., Kallio H. P., Schaich K. M., Suomela J. P., Yang B. Red/green currant and sea buckthorn berry press residues as potential sources of antioxidants for food use. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2018;66(13):3426-3434. DOI: <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b00177>

В 2020-2021 годах начало распускания почек и цветение проходили в обычные, по сравнению со среднемноголетними, сроки: начало распускания почек отмечено в период с 18 по 25 апреля при благоприятных условиях, начало цветения – с 8 по 13 мая, в сжатые сроки в связи с жаркой погодой. Начало созревания ягод в 2020 году проходило с 14 по 16 июля, в этот период наблюдались экстремально высокие температурные показатели при отсутствии осадков (температура воздуха днем зафиксиро-

рована от +21,0 до +38,7 °С, ночью – от +15,0 до +21,0 °С). В 2021 году начало созревания ягод наступило (с 6 по 8 июля) раньше средних многолетних сроков в связи с аномально жаркой погодой после распускания почек. В 2022 году наблюдалась поздняя весна, сдвиг по всем фенофазам составил 10 дней от среднемноголетних значений – начало распускания почек в опыте отмечено с 26 апреля по 1 мая, начало цветения – с 16 по 18 мая, начало созревания – с 16 по 18 июля (табл. 1)

Таблица 1 – Даты наступления фенологических фаз сортов смородины красной в 2019-2022 гг. / Table 1 – Dates of the onset of the phenological phases of red currant varieties in 2019-2022

<i>Cорт / Variety</i>	<i>Фенологическая фаза / Phenological phase</i>		
	<i>распускание почек / budding</i>	<i>цветение / flowering</i>	<i>созревание ягод / berry ripening</i>
Огни Урала (контроль) / Ogni Urala (control)	19-27.04	9-17.05	7-17.07
Алая зорька / Alaya zor'ka	22-28.04	8-17.05	7-17.07
Альфа / Al'fa	20-27.04	8-17.05	8-17.07
Бета / Beta	22-27.04	8-16.05	7-16.07
Дзета / Dzeta	20-30.04	8-18.05	7-18.07
Ильинка / Il'inka	21-29.04	9-17.05	8-17.07
Йота / Jota	18-26.04	9-16.05	7-16.07
Капиталина / Kapitalina	19-26.04	8-16.05	8-16.07
Лучезарная / Luchezarnaya	25.04-01.05	10-18.05	6-18.07
Эпсилон / Epsilon	22-29.04	9-17.05	7-17.07

Фенологические ритмы изучаемых в данном опыте сортов в условиях Южного [11, 12, 13] и Среднего Урала схожи. Раннее созревание ягод отмечали у сортов Бета, Йота, Капиталина, позднее – Лучезарная, Дзета, остальные сорта занимали промежуточное положение.

Предварительные результаты коллекционного изучения сортообразцов смородины красной челябинской селекции представлены в таблицах 2, 3.

Таблица 2 – Продуктивность сортов смородины красной за годы изучения, кг/куст / Table 2 – Productivity of red currant varieties over the years of study, kg/bush

<i>Cорт / Variety</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>	<i>2022 г.</i>	<i>Среднее / Average</i>
Огни Урала (контроль) / Ogni Urala (control)	0,4	1,5	1,3	1,07
Йота / Jota	0,2	1,5	1,5	1,07
Альфа / Al'fa	0,15	0,8	1,5	0,82
Дзета / Dzeta	0,4	0,9	1,0	0,77
Алая зорька / Alaya zor'ka	0,5	0,7	1,0	0,73
Капиталина / Kapitalina	0,3	0,8	0,9	0,67
Ильинка / Il'inka	0,2	0,8	0,5	0,50
Лучезарная / Luchezarnaya	0,4	0,4	0,6	0,47
Бета / Beta	0,3	0,3	0,3	0,30
Эпсилон / Epsilon	0,1	0,3	0,3	0,23
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	-	-	-	0,09

Таблица 3 – Товарные качества ягод сортов смородины красной и состояние растений за годы изучения (2020-2022 гг.) /

Table 3 – Commercial qualities of berries of red currant varieties and the state of plants over the years of study (2020-2022)

Сорт / Variety	Масса ягоды, г / Berry weight, g		Вкус ягод / Taste of berries	Состояние, балл / Condition, point	Примечание / Note
	средняя / average	макси- мальная / maximum			
Огни Урала (контроль) / Ogni Urala (control)	0,5	0,6	Кисло-сладкий / Sweet and sour	4,5	Галловая тля / Gall aphid
Капиталина / Kapitalina	0,6	2,0	Десертный / Dessert	5,0	-
Йота / Jota	0,7	1,0		5,0	-
Ильинка / I'inka	0,6	1,0	Кисло-сладкий / Sweet and sour	3,5	Слабое подмерзание, умеренный прирост / Slight freezing, moderate growth
Бета / Beta	0,6	1,0	Десертный / Dessert	4,0	Слабое подмерзание / Slight freezing
Дзета / Dzeta	0,5	0,6	Кисло-сладкий / Sweet and sour	5,0	-
Алая зорька / Alaya zor'ka	0,5	0,6	Десертный / Dessert	4,5	Краевой некроз / Edge necrosis
Эпсилон / Epsilon	0,5	0,6		3,5	
Альфа / Al'fa	0,4	0,5		5,0	-
Лучезарная / Luchezarnaya	0,3	0,4		3,0	Краевой некроз/ Edge necrosis
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	0,04	-	-	-	-

Смородина красная в условиях Среднего Урала позже вступает в период хозяйственного плодоношения, чем черная. Так, в 2020 году хозяйственно значимого урожая в опыте не было ни на одном сорте, максимальный – 0,5 кг/куст (17 ц/га) получен у сорта Алая зорька. В 2021 году хозяйственно значимый урожай отмечен у половины сортов, максимальный – 0,9...1,5 кг/куст (30...50 ц/га) – у контрольного сорта Огни Урала и сортов Йота, Дзета. Самый высокий урожай в 2022 году получен у сорта-контроля Огни Урала и сортов Йота, Альфа – 1,3...1,5 кг/куст (43...50 ц/га), в среднем за 3 года плодоношения – Огни Урала (контроль) и Йота – 1,07 кг/куст (36 ц/га), отрицательно повлияла трехлетняя засуха. У сортов Капиталина, Йота, Ильинка, Бета ягоды крупные, средней массой 0,6...0,7 г, максимальной – 1,0...2,0 г. Десертный вкус отмечен у сортов Йота, Альфа, Алая зорька, Капиталина, Лучезарная, Бета, Эпсилон, кисло-сладкий – у сортов Ильинка, Дзета, Огни Урала.

На сортах Алая зорька, Лучезарная, Эпсилон ежегодно отмечается краевой некроз листьев (рис. 2), сорт Огни Урала сильно повреждается галловой тлей, что оказывает влияние на общее состояние растений.

По результатам статистической обработки экспериментальных данных, по продуктивности (в среднем за 2020-2022 гг.) на уровне контрольного сорта Огни Урала показал себя сорт Йота, остальные сорта уступили контролю (табл. 2). По показателю «средняя масса ягод» существенно превзошли контрольный сорт – Капиталина, Йота, Ильинка, Бета (табл. 3).

На Южном Урале [11, 12, 13] по крупноплодности выделились сорта Бета, Йота, Капиталина, по урожайности – Бета, Капиталина, Эпсилон.

В таблице 4 представлены результаты исследований на содержание антиоксидантов в ягодах смородины красной по сортам. Исследования проведены совместно с ФГБОУ ВО «Уральский государственный экономический университет». Целью работы было выделение лидирующих сортов красной смородины по общей антиоксидантной активности ягод и определение возможности использования ягод в качестве компонента-антиоксиданта в составе пищевых систем, направленных на снижение негативного воздействия окислительного стресса на организм человека [15].



а / а



б / б

Рис. 2. Краевой некроз листьев у сортов смородины красной Лучезарная (а) и Эпсилон (б) /
Fig. 2. Edge necrosis of leaves in the varieties in red currant Luchezarnaya (a) and Epsilon (b)

Таблица 4 – Результаты исследования на содержание антиоксидантов в ягодах смородины красной по сортам /

Table 4 – Results of the study for the content of antioxidants in red currant berries by varieties

Сорт / Variety	Ммоль/дм ³ экв / mmol/dm ³ eq			
	2021 г.	2022 г.	среднее / average	коэффициент вариации, % / coefficient of variation, %
Эпсилон / Epsilon	13,772	11,518	12,65	12,6
Лучезарная / Luchezarnaya	11,933	11,777	11,86	0,9
Ильинка / I'inka	12,826	9,145	10,99	23,7
Капиталина / Kapitalina	11,003	8,421	9,71	18,8
Бета / Beta	7,519	9,124	8,32	13,6
Алая зорька / Alaya zor'ka	6,445	9,889	8,17	29,8
Дзета / Dzeta	6,428	8,574	7,50	20,2
Йота / Jota	7,063	7,409	7,24	3,4
Огни Урала / Ogni Urala	6,473	6,132	6,30	3,8
Среднее / Average	9,274	9,110	9,19	14,1

За два года изучения наибольшее содержание антиоксидантов в ягодах выявлено у сортов Лучезарная, Ильинка, Эпсилон – 10,99...12,65 ммоль/дм³ экв – это составляет 20...40 % от рекомендуемой суточной нормы потребления в пересчете на аскорбиновую кислоту, что является значительным [15].

Содержание антиоксидантов варьировало по годам в зависимости от сложившихся погодных условий. Наиболее сильно (значительная изменчивость) это проявилось у сортов Дзета, Ильинка, Алая зорька – коэффициент вариации от 20,2 до 29,8 %. Стабильное по годам содержание антиоксидантов у сортов Лучезарная,

Йота, Огни Урала – коэффициент вариации от 0,9 до 3,8 %, причем у сорта Лучезарная стабильно высокое. Если сравнивать содержание антиоксидантов в ягодах красной и черной смородины, то в черной оно выше, среднее

значение 16,9 ммоль/дм³ экв⁴, в красной – 9,19 ммоль/дм³ экв.

На рисунке 3 представлены фото ягод сортов смородины красной Огни Урала, Лучезарная, Алая зорька и Дзета.



а / а



б / б



в / с



г / д

Рис. 3. Сорта смородины красной Огни Урала (а), Лучезарная (б), Алая зорька (в) и Дзета (г) /
Fig. 3. Varieties of red currant Ogni Urala (a), Luchezarnaya (b), Alaya zor'ka (c) and Dzeta (d)

Заключение. Изученные сорта смородины красной селекции Южно-Уральского научно-исследовательского института садоводства и картофелеводства хорошо адаптируются к нестабильным погодным условиям последних лет на Среднем Урале. Сдвиг по датам наступления основных фаз вегетации может достигать 10 дней от среднемноголетних значений.

По результатам испытаний высокой продуктивностью обладает сорт Йота. Сорта Капиталина, Йота, Ильинка, Бета – наиболее крупноплодные с хорошим вкусом, рекомендуются для практического садоводства Среднего Урала.

По результатам оценки общей антиоксидантной активности ягод сорта Лучезарная, Ильинка, Эпсилон наиболее перспективны в качестве источников природных биологически активных соединений в продуктах питания с повышенной функциональной ценностью.

Все сорта селекции ЮУНИИСК – филиала ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН будут сохраняться в УНУ «Генофонд плодовых, ягодных и декоративных культур на Среднем Урале» как ценные образцы.

⁴Отчет о НИР «Создание конкурентноспособных, высокоурожайных сортов зерновых, зерно-бобовых, кормовых, плодово-ягодных культур и картофеля мирового уровня на основе перспективных генетических ресурсов, устойчивых к био- и абиотическим факторам» (0532-2021-0008) (промежуточный). ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН. Екатеринбург, 2022. Рег. № 121072200042-5. ИКРБС № 223020202425-2

Список литературы

1. Слепнева Т. Н., Чеботок Е. М. Сохранение и пополнение генетических ресурсов плодовых, ягодных и декоративных культур путем создания Уникальной научной установки коллекции живых растений открытого грунта. Сборник научных трудов Государственного Никитского ботанического сада. 2017;144(1):54-58. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29904922> EDN: ZEKQNB
2. Хроменко В. В., Воробьев В. Ф. Технологические затраты и экономическая эффективность выращивания ягодных культур. Садоводство и виноградарство. 2013;(2):44-48. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18949615> EDN: PYRNTL
3. Голяева О. Д., Панфилова О. В. Адаптивные сорта красной смородины селекции ВНИИСПК. Плодоводство и ягодоводство России. 2014;38(1):96-100. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20959552> EDN: RQR COD
4. Сорокопудов В. Н., Назарюк Н. И., Нигматзянов Р. А., Сорокопудова О. А. Итоги селекции смородины красной в лесостепи Приобья. Вестник КрасГАУ. 2021;(11):85-92. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-85-92> EDN: PDWCQF
5. Горбунов А. Б., Кукушкина Т. А. Химический состав ягод видов и межвидовых гибридов красной смородины в условиях культуры. Химия растительного сырья. 2019;(3):85-93. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034815> EDN: JMBOXE
6. Макаркина М. А., Ветрова О. А. Фенольные (Р-активные) соединения ягодных культур генофонда ВНИИСПК. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022;(4):40-44. DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2022/4/40-44> EDN: BИKAQH
7. Голод Т. А. Оценка сортов смородины красной по качеству ягод в Ленинградской области. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2018;(51):53-58. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35310717> EDN: UUXFNM
8. Ильин В. С. Смородина. Челябинск: Южно-Уральское кн. изд-во, 2007. 370 с.
9. Сабарайкина С. М., Брындза Я. Биохимическая оценка и антиоксидантная активность ягод красной смородины Якутии. Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014;(4):202-203. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21350961> EDN: RZFUQB
10. Ильин В. С. Результаты сороколетних исследований по смородине и крыжовнику. Достижения науки и техники АПК. 2011;(5):46-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16382693> EDN: NUNBNT
11. Ильин В. С. Селекция смородины красной на Южном Урале. Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2011;(4):34-36. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16499725> EDN: NXBQUB
12. Ильин В. С. Результаты селекции смородины красной на Южном Урале. Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2016;(3):107-113. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26931394> EDN: WRIVKL
13. Макаренко С. А., Савин Е. З., Ильин В. С., Котов Л. А., Слепнева Т. Н., Чеботок Е. М. и др. Помология Урала: сорта плодовых, ягодных культур и винограда. М.: Наука, 2022. 506 с.
14. Chebotok E. M. Influence of unstable weather conditions on the passage time of phenological phases of black currant in the Middle Urals. Agrarian bulletin of the Urals. 2020;(7):23-28. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-198-7-23-28>
15. Чугунова О. В., Вяткин А. В., Тиунов В. М., Чеботок Е. М. Исследование антиоксидантных показателей ягод красной смородины сортов, районированных в Свердловской области. Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2022;12(2):321-329. DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-321-329> EDN: TBYCJA

References

1. Slepneva T. N., Chebotok E. M. Maintenance and replenishment of genetic resources of fruit, berry and ornamental crops through the establishment of unique scientific installations of the collection of living plants of open ground. *Sbornik nauchnykh trudov Gosudarstvennogo Nikitskogo botanicheskogo sada*. 2017;144(1):54-58. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29904922>
2. Khromenko V. V., Vorobev V. F. Technological costs and economic efficiency of growing berry crops. *Sadovodstvo i vinogradarstvo = Horticulture and viticulture*. 2013;(2):44-48. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18949615>
3. Golyaeva O. D., Panfilova O. V. Adaptivnye sorta krasnoy smorodiny seleksii VNIISPK. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii = Pomiculture and small fruits culture in Russia*. 2014;38(1):96-100. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20959552>
4. Sorokopudov V. N., Nazaryuk N. I., Nigmatzyanov R. A., Sorokopudova O. A. The red currant breeding results in the ob region forest-steppe. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2021;(11):85-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-85-92>

5. Gorbunov A. B., Kukushkina T. A. The chemical composition of the berries of species and interspecific hybrids of red currant in culture. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2019;(3):85-93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.2019034815>
6. Makarkina M. A., Vetrova O. A. Phenolic (P-active) compounds of berry crops of the VNIISPK gene pool. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2022;(4):40-44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2022/4/40-44>
7. Golod T. A. Evaluation of red currant varieties by the quality of berries in the Leningrad region. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2018;(51):53-58. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35310717>
8. Ilyin V. S. Currant. Chelyabinsk: *Yuzhno-Ural'skoe kn. izd-vo*, 2007. 370 p.
9. Sabaraykina S. M., Bryndza Ya. Biochemical assessment and antioxidant activity of Yakutia red currant berries. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy* = International Journal of Applied And Fundamental Research. 2014;(4):202-203. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21350961>
10. Ilyin V. S. Results of forty-years research work of currant and gooseberry breeding. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2011;(5):46-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16382693>
11. Ilyin V. S. Breeding of red currant in the Southern Urals. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*. 2011;(4):34-36. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16499725>
12. Ilyin V. S. Results of red currant selection in the South Urals. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik Bashkir State Agrarian University. 2016;(3):107-113. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26931394>
13. Makarenko S. A., Savin E. Z., Ilyin V. S., Kotov L. A., Slepneva T. N., Chebotok E. M. et al. Pomology of the Urals: varieties of fruit, berry crops and grapes. Moscow: *Nauka*, 2022. 506 p.
14. Chebotok E. M. Influence of unstable weather conditions on the passage time of phenological phases of black currant in the Middle Urals. *Agrarian bulletin of the Urals*. 2020;(7):23-28. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-198-7-23-28>
15. Chugunova O. V., Vyatkin A. V., Tiunov V. M., Chebotok E. M. Antioxidant indices of red currant cultivars grown in the Sverdlovsk Oblast. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology. 2022;12(2):321-329. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2022-12-2-321-329>

Сведения об авторе

✉ **Чеботок Елена Михайловна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Белинского, 112а, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620142, e-mail: info@urfanic.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>, e-mail: sadovodnauka@mail.ru

Information about the author

✉ **Elena M. Chebotok**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Science, Belinsky Street, g. 112a, Ekaterinburg, Russian Federation, 620076, e-mail: info@urfanic.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-5942-6178>, e-mail: sadovodnauka@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.95-106>

УДК 631.445.9:631.452:631.811.94

Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под действием хромового загрязнения и рекультивационных мероприятий© 2023. А. В. Леднев¹✉, А. В. Ложкин¹, Г. А. Поздеев²¹ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация,²ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

В условиях Удмуртской Республики проведены полевые эксперименты (2017-2021 гг.) по ремедиации агродерново-подзолистой суглинистой почвы (albeluvisols) с высоким уровнем загрязнения хромом (внесение 500 мг д. в./кг почвы). Для снижения степени подвижности этого тяжелого металла в почве использовались как химические, так и физико-химические механизмы. В качестве мелиоративных добавок изучали мелиоранты и удобрения (известняковая и фосфоритная мука, суперфосфат, гумат калия, торф, цеолит) в различных дозах. В результате проведенных исследований установлено, что все мелиоративные добавки не только обусловили резкое снижение подвижности хрома на 40-65 %, но и оказали положительное влияние на агрохимические показатели загрязнённой почвы. Характер и параметры этого влияния определялись их химическим составом, дозой внесения и периодом, прошедшим после внесения. Известняковая мука статистически достоверно снизила почвенную кислотность в загрязнённой почве (на 1,21-3,03 ед. рН_{KCl}) и увеличила сумму обменных оснований (в 1,7-6,5 раза). Фосфоритная мука (в 2,1-9,1 раз) и суперфосфат (на 13-43 %) увеличили в почве содержание подвижного фосфора, торф – органического вещества (на 0,28-1,47 абс. %), цеолит – сумму обменных оснований (на 1,4-9,8 ммоль/100 г, или 12-239 %). Положительное действие мелиоративных добавок, особенно их повышенных доз, прослеживалось в течение всех пяти лет наблюдений, что позволяет их рекомендовать в качестве перспективных мелиорантов для восстановления плодородия дерново-подзолистых почв, загрязнённых хромом.

Ключевые слова: тяжёлые металлы, хром, ремедиация, мелиоративные добавки, агрохимические показатели**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр УрО РАН» (тема № 1021032424706-4-4-1.1).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Леднев А. В., Ложкин А. В., Поздеев Г. А. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под действием хромового загрязнения и рекультивационных мероприятий. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):95-106. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.95-106>

Поступила: 21.12.2022

Принята к публикации: 08.02.2022

Опубликована онлайн: 27.02.2022

Changes in the agrochemical parameters of sod-podzolic soils under the influence of chromium pollution and recultivation measures© 2023. Andrey V. Lednev¹✉, Andrey V. Lozhkin¹, Gennadiy A. Pozdeev²¹Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russian Federation,²Udmurt State Agricultural University, Izhevsk, Russian Federation

In the conditions of the Udmurt Republic, field experiments (2017-2021) were carried out on the remediation of agro-podzolic loamy soil (albeluvisols) with a high level of chromium contamination (application of 500 mg a.i./kg of soil). Both chemical and physicochemical mechanisms have been used to reduce the degree of mobility of this heavy metal in soil. Ameliorants and fertilizers (limestone and phosphate rock, superphosphate, potassium humate, peat, zeolite) in various doses were studied as ameliorative additives. Various doses of ameliorants and fertilizers were studied as ameliorative additives: limestone and phospharite meal, superphosphate, potassium humate, peat and zeolite. As a result of the research, it was found that all ameliorative additives not only caused a sharp decrease in the mobility of chromium by 40-65 %, but also had a positive effect on the agrochemical parameters of the contaminated soil. The nature and parameters of this influence were determined by their chemical composition, the rate of application, and the period that passed after the application. Limestone

flour statistically significantly reduced soil acidity in contaminated soil (by 1.21-3.03 pH_{KCl} units) and increased the total of absorbed bases by 1.7-6.5 times. Phospharite meal (by 2.1-9.1 times) and superphosphate (by 13-43 %) increased the mobile phosphorus content in the soil; peat increased the organic matter content (by 0.28-1.47 abs.%); zeolite increased the total exchangeable bases by 1.4-9.8 mmol/100g or by 12-239 %. The positive effect of these ameliorative additives, especially their increased doses, was traced during all five years of observation, what allows them to be recommended as promising ameliorants for restoring the fertility of soddy-podzolic soils contaminated with chromium.

Keywords: heavy metals, chromium, remediation, ameliorative additives, agrochemical indicators

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 Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 1021032424706-4-4-1.1).

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

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

For citation: Lednev A. V., Lozhkin A. V., Pozdeev G. A. Changes in the agrochemical parameters of sod-podzolic soils under the influence of chromium pollution and recultivation measures. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):95-106. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.95-106>

Received: 21.12.2022

Accepted for publication: 08.02.2023

Published online: 27.02.2023

Одним из негативных последствий индустриального развития современного общества является резкое возрастание техногенного воздействия на почвенный покров, которое приводит к его загрязнению [1, 2]. Из многочисленных поллютантов, попадающих тем или иным способом в почву, на особом месте находятся тяжёлые металлы (ТМ). Это связано с тем, что они являются самыми распространёнными и очень опасными загрязнителями, а почвы, загрязнённые ТМ, наиболее сложно рекультивировать. Тяжёлые металлы не только снижают продуктивность биоценозов, но и резко ухудшают их качественные показатели, накапливаясь, в том или ином количестве, в растениеводческой продукции [3, 4]. Эта продукция по пищевой цепочке попадает в организм человека и вызывает многочисленные заболевания, которые резко снижают его продолжительность жизни [5, 6].

Одним из наиболее распространённых и опасных тяжёлых металлов является хром. Только в Удмуртской Республике, типичном регионе Европейской части России, доля почв с повышенным и высоким уровнем его содержания составляет 24,7 тыс. га (1,8 % обследованной территории) [7].

Наиболее значительные площади земель, загрязнённых ТМ, расположены вокруг крупных индустриальных центров, где проживает основная часть населения РФ, и поэтому рекультивация этих территорий имеет не только экологическое, но и социальное значение, что придаёт повышенную актуальность научным исследованиям в этой области. Эффективность любой разрабатываемой технологии ремедиации определяется комплексом показателей, она должна не только гарантировать снижение степени токсичности поллютантов до безопасного для

живых организмов санитарно-гигиенического уровня, но и обеспечивать воспроизводство плодородия загрязнённых почв, способствовать повышению урожайности сельскохозяйственных культур и быть экономически целесообразной.

Цель исследований – изучить изменение агрохимических показателей дерново-подзолистых почв под воздействием хромового загрязнения и технологических приёмов по ремедиации.

Научная новизна. Впервые в условиях Удмуртской Республики получены данные по воздействию технологических приёмов ремедиации на воспроизводство плодородия дерново-подзолистых почв, загрязнённых хромом и используемых в сельскохозяйственном производстве.

Материал и методы. Для определения эффективности изучаемых технологических приёмов ремедиации почв, загрязнённых хромом, в 2017 году на опытном поле ФГБОУ ВО Удмуртский ГАУ в Воткинском районе Удмуртской Республики был заложен многолетний полевой опыт. Почва – агродерново-подзолистая среднесуглинистая на покровных глинах и тяжёлых суглинках. До закладки опыта она характеризовалась следующими показателями: содержание подвижного фосфора – 130 мг/кг, обменного калия – 125 мг/кг почвы, гумуса – 1,86 %, показатель рН_{KCl} – 5,0; гидролитическая кислотность – 3,19 ммоль/100 г; сумма обменных оснований – 13,7 ммоль/100 г. Содержание кислоторастворимых (псевдоваловых) форм хрома до закладки опыта – 15,8 мг/кг почвы. Загрязнение почвы в опыте выполнено водорастворимой солью – сульфатом хрома (Cr₂(SO₄)₃) в дозе 500 мг д. в. (Cr)/кг, что соответствует высокому уровню загрязнения.

Сульфат хрома растворяли в воде и равномерно вносили по площади делянки, с последующим перемешиванием пахотного слоя почвы на глубину 24 см. В качестве мелиоративных добавок испытывали следующие мелиоранты и удобрения: известняковую (доломитовую) муку (ГОСТ 14050-93); фосфоритную муку класса А с содержанием P_2O_5 30 % (ГОСТ 5716-74); суперфосфат простой гранулированный (ГОСТ 5956-78) с содержанием P_2O_5 19 %; торф низинный сильной степени разложения (60-70 %) и реакцией среды, близкой к нейтральной (pH_{KCl} 5,9), с влажностью 70 %; цеолит Хотынецкого месторождения (содержание минералов группы клиноптилолита 50...60 %); гумат калия «Живая капля» (препарат фабричного производства).

Размер опытной делянки 2 м². Опыт заложен в 4-кратной повторности согласно общепринятым методикам. Расположение делянок систематическое со смещением. Все агротехнические работы на опыте проводили вручную.

Влияние мелиоративных добавок на химические и физико-химические свойства загрязнённой почвы изучали при следующем чередовании культур: викоовсяная смесь (2017 г.); ячмень (2018 г.); овес (2019 г.); викоовсяная смесь (2020 г.); ячмень (2021 г.).

Для экстракции из почв подвижных форм Cr^{3+} был использован ацетатно-аммонийный буферный раствор (ААБ – pH_{KCl} 4,8). Данный экстрагент нашел широкое распространение при определении экологического состояния загрязнённых почв. ААБ позволяет экстрагировать специфически адсорбированную фракцию поллютантов состоящую из: 1) водорастворимых соединений; 2) обменных катионов; 3) катионов ТМ, специфически сорбированных различными почвенными компонентами [8].

Содержание хрома в почвах находили методом атомно-абсорбционной спектроскопии в пламени¹. Определение агрохимических показателей почв проведено по общепринятым методикам и государственным стандартам: подвижный фосфор и обменный калий по ГОСТ 26207-91; обменная кислотность по ГОСТ 26483-85; содержание органического вещества по ГОСТ 26213-91. Статистическая обработка данных проведена методом дисперсионного анализа².

¹Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. М.: ЦИНАО, 1992. 31 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., доп. и перераб. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с

Результаты и их обсуждение. Одним из основных показателей дерново-подзолистых почв, от которых зависит уровень их плодородия, является кислотность почвы. Она не только определяет степень комфортности произрастания растений в почве, но и оказывает непосредственное влияние на растворимость и биодоступность различных химических элементов, в том числе элементов минерального питания и различных токсикантов. При уменьшении кислотности значительно снижается степень растворимости Al, Fe, Mn, B, Pb, Zn и др. и увеличивается – Mo [9, 10]. При реакции, близкой к нейтральной, наиболее благоприятно протекает фосфатный и азотный режимы почвы [11]. Относительно влияния кислотности на степень растворения хрома имеются противоречивые данные: в исследованиях А. В. Алексеева [9] отмечено повышение его растворимости по мере снижения кислотности, а в наших опытах выявлена противоположная тенденция [12].

Влияние хромового загрязнения и мелиоративных добавок на величину pH_{KCl} показано в таблице 1. Для закладки опыта была выбрана среднекислая почва с показателем pH_{KCl} , равным 4,96 ед. За пятилетний период наблюдений изменение этого показателя происходило в пределах статистической ошибки (от 4,96 до 5,09 ед.), лишь в 2018 году он снижался до 4,21 ед. Загрязнение почвы в 2017 году гидролитически кислой солью сульфатом хрома в дозе 500 мг д.в. (Cr)/кг привело к значительному подкислению почвы – до 3,71 ед., что соответствовало градации «очень сильно кислая почва». Такая высокая почвенная кислотность сохранялась весь период наблюдений и являлась одной из причин резкого снижения урожайности в данном варианте [12]. Внесение известняковой муки позволило довести почвенную кислотность загрязнённой почвы до нейтральной реакции: доза 0,8 кг/м² – до 6,04 ед.; доза 1,2 кг/м² – до 6,74 ед. pH_{KCl} . Если в случае внесения высокой дозы извести (1,2 кг/м²), эта реакция сохранялась практически весь пятилетний период наблюдений, то доза 0,8 кг/м² действовала менее стабильно, показатель pH_{KCl} периодически снижался до градации «близкая к нейтральной». Смещение реакции солевой вытяжки в щелочную сторону под действием известняковой муки в целом по опыту колебалось от 1,21 до 3,03 ед. pH_{KCl} .

Таблица 1 – Изменение кислотности в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, ед. рН_{КСЛ} /
Table 1 – Change in acidity in chromium-contaminated soils under the action of ameliorative additives, units рН_{КСЛ}

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	4,96	-	4,21	-	4,98	-	5,09	-	5,01	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	3,71	-	3,71	-	4,33	-	4,49	-	4,07	-		
Фон + Pф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	3,91	0,20	3,91	0,20	4,29	-0,04	4,41	-0,08	4,23	0,16		
Фон + Pф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	4,07	0,36	4,07	0,36	4,61	0,28	4,55	0,06	4,44	0,37		
Фон + Pс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	3,73	0,02	3,73	0,02	4,22	-0,11	4,54	0,05	4,1	0,03		
Фон + Pс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	3,66	-0,05	3,66	-0,05	4,26	-0,07	4,23	-0,26	4,11	0,04		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	3,69	-0,02	3,69	-0,02	4,24	-0,09	4,64	0,15	4,20	0,13		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	3,72	0,01	3,72	0,01	4,41	0,08	4,62	0,13	4,22	0,15		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	6,04	2,33	5,50	1,79	5,54	1,21	6,25	1,76	5,75	1,68		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	6,74	3,03	6,74	3,03	6,50	2,17	6,79	2,30	6,20	2,13		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	4,29	0,58	4,10	0,39	4,64	0,31	4,73	0,24	5,68	1,61		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	4,67	0,96	4,86	1,15	5,16	0,83	4,86	0,37	5,93	1,86		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	3,75	0,04	4,75	1,04	4,11	-0,22	4,37	-0,13	5,20	0,13		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	3,78	0,07	4,89	1,18	4,21	-0,12	4,71	0,22	4,29	0,22		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,59	-	0,73	-	0,68	-	0,83	-	0,70		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Pф – фосфоритная мука; Pс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pф – phosphorite flour; Pс – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

Из других изучаемых мелиоративных добавок почвенную кислотность уменьшал низинный торф, цеолит и фосфоритная мука, но это действие, в основном, проявлялось только на уровне положительной тенденции, лишь в отдельные периоды доказывалось статистически. Снижение почвенной кислотности этими мелиоративными добавками объясняется присутствием в них того или иного количества карбонатов кальция.

Другим важнейшим показателем, по которому оценивают уровень плодородия дерново-подзолистых почв, является сумма обменных оснований. Именно она определяет буферную способность почв или их устойчивость к различным внешним воздействиям, в том числе к загрязнению почв тяжёлыми металлами. До закладки опыта почва характеризовалась средней величиной этого показателя (для почв подзолистого типа) – 11,5 ммоль/100 г, и за период наблюдений он колебался в достаточно больших пределах (от 9,5 до 16,0 ммоль/100 г), но не выходил из градаций среднего уровня (табл. 2). Загрязнение почвы сульфатом хрома вызвало резкое снижение в ней суммы обменных оснований, особенно значительное в первые три года (на 33,7-64,3 %), в последствии разница сократилась и составляла 12,9-22,5 %. Данное снижение обусловлено повышенной гидролитической кислотностью, использованной для загрязнения соли. Внесение известняковой муки, закономерно, привело к увеличению показателя суммы обменных оснований: в первый год доза 0,8 кг/м² – в 3,5 раза, доза 1,2 кг/м² – в 6,5 раза. Известняковая мука обладала длительным последствием, даже на пятый год наблюдений она обеспечила его повышение в 1,7 (доза 0,8 кг/м²) – 2,6 (доза 1,2 кг/м²) раза. Данная закономерность общеизвестна и отражена в большом количестве работ [12, 13, 14]. Кроме известняковой муки, показатель суммы обменных оснований повысился, хотя и не так значительно, внесение в загрязнённую почву высоких доз фосфоритной муки (на 87,9 %), торфа (на 105,2 %) и цеолита (91,4 %). Механизмы действия этих мелиоративных добавок различны. Если фосфоритная мука повышала этот показатель за счет присутствия в ней в качестве примеси того или иного количества карбонатов, то действие торфа и цеолита

основано на повышении поглотительной способности почв за счет присутствия в их составе большого количества органических (торф) или минеральных (цеолит) коллоидных частиц. За счет этой фракции данные мелиоранты обладали очень большой ёмкостью катионного обмена: цеолит – 92 ммоль/100 г, торф – 120 ммоль/100 г. Необходимо отметить, что наиболее значительное действие этих мелиорантов отмечалось в первые 2-3 года, а впоследствии проявлялось, в основном, только на уровне положительной тенденции.

Способность почвы противостоять изменениям окружающей среды зависит и от другого важнейшего показателя – содержания в почве гумуса, а в более широком аспекте – содержания органического вещества. Гумус является интегральным показателем плодородия, именно по нему проводят общую оценку почв. Его величина достаточно стабильна, он относится к консервативным показателям и определяет, в первую очередь, физические и физико-химические свойства почвы. В состав органического вещества, кроме гумуса, входят растительные и животные остатки различной степени разложения. Эта часть органического вещества более лабильна, и она оказывает влияние на химические и биологические свойства почв. Содержание органического вещества в почве в нашем опыте определялось тремя переменными: содержанием гумуса; внесёнными мелиоративными добавками; количеством пожнивных остатков. Так как количество пожнивных остатков во всех вариантах опыта было примерно одинаковым, и его основная часть (корни и солома) при подготовке почвенных образцов к анализу была механически отобрана, то этот показатель можно принять за общий фон и не учитывать при анализе полученных результатов.

В пахотном слое незагрязнённой почвы (контроль) содержание органического вещества было представлено, в основном, гумусом. Этот показатель за весь период наблюдений изменялся незначительно и колебался от 1,49 до 1,77 % (табл. 3), что характеризует гумусированность как среднюю для зональных дерново-подзолистых почв³. Загрязнение почвы сульфатом хрома не оказало статистически достоверного влияния на этот показатель.

³Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.

Таблица 2 – Изменение показателя «сумма обменных оснований» в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, ммоль/100 г /
Table 2 – Change in the indicator of the sum of exchangeable bases in soils contaminated with chromium under the influence of ameliorative additives, mmol/100 g

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	11,5	-	11,5	-	9,5	-	16,0	-	13,2	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	5,8	-	4,1	-	6,3	-	12,4	-	11,5	-		
Фон + Pф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	9,8	4,0	8,1	4,0	7,5	1,2	14,1	1,7	11,9	0,4		
Фон + Pф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	10,9	5,1	9,2	5,1	9,7	3,4	19,0	6,6	12,2	0,7		
Фон + Pс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	6,0	0,2	4,3	0,2	5,7	-0,6	12,5	0,1	11,8	0,3		
Фон + Pс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	5,8	0,0	3,8	-0,3	5,9	-0,4	12,9	0,5	11,8	0,3		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	5,8	0,0	4,0	-0,1	5,1	-1,2	11,8	-0,6	11,9	0,4		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	5,9	0,1	4,1	0,0	6,1	-0,2	14,1	1,7	12,0	0,5		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	20,1	14,3	17,6	13,5	15,4	9,1	20,4	8,0	19,9	8,4		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	37,6	31,8	37,6	33,5	25,1	18,8	28,5	16,1	29,5	18,0		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	9,9	4,1	7,9	3,8	8,9	2,6	15,4	3,0	13,3	1,8		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	11,9	6,1	8,4	4,3	10,0	3,7	15,8	3,4	14,6	3,1		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	8,3	2,5	9,3	5,2	6,6	0,3	13,9	1,5	12,9	1,4		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	11,1	5,3	13,8	9,7	8,2	1,9	16,0	3,6	13,7	2,2		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	4,3	-	4,6	-	5,5	-	4,0	-	2,9		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Pф – фосфоритная мука; Pс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pф – phosphorite flour; Pс – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

Таблица 3 – Изменение содержания органического вещества в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, % /
Table 3 – Change in the content of organic matter in soils contaminated with chromium under the influence of ameliorative additives, %

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	1,77	-	1,77	-	1,62	-	1,49	-	1,70	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	1,75	-	1,75	-	1,83	-	1,47	-	1,69	-		
Фон + Рф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	1,63	-0,12	1,63	-0,12	1,93	0,10	1,48	0,01	1,51	-0,17		
Фон + Рф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	1,73	-0,02	1,73	-0,02	1,72	-0,11	1,46	-0,01	1,54	-0,15		
Фон + Рс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	1,69	-0,06	1,69	-0,06	1,75	-0,08	1,38	-0,09	1,59	-0,10		
Фон + Рс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	1,75	0,00	1,65	-0,10	1,80	-0,03	1,44	-0,03	1,51	-0,17		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	1,68	-0,07	1,68	-0,07	1,66	-0,18	1,30	-0,17	1,48	-0,20		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	1,68	-0,07	1,68	-0,07	1,64	-0,19	1,44	-0,03	1,60	-0,08		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	1,88	0,13	1,68	-0,07	1,81	-0,03	1,53	0,06	1,57	-0,12		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	1,99	0,25	1,69	-0,06	1,67	-0,16	1,56	0,09	1,56	-0,12		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	2,26	0,52	2,54	0,79	2,20	0,36	1,87	0,40	1,97	0,28		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	3,21	1,47	2,96	1,22	2,26	0,42	2,02	0,55	2,12	0,44		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	1,75	0,0	1,75	0,0	1,76	-0,07	1,52	0,05	1,74	0,05		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	1,80	0,05	1,71	-0,04	1,70	-0,13	1,53	0,06	1,62	-0,06		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	0,24	-	0,35	-	0,30	-	0,23	-	0,20		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Рф – фосфоритная мука; Рс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pf – phosphorite flour; Ps – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

В нашем опыте повышение буферной способности почвы с помощью непосредственного увеличения содержания органического вещества изучалось на примере использования высоких доз торфа. В опыте подтвердилась эффективность этого агроприёма: внесение торфа в дозе 5 кг/м² увеличило этот показатель на 0,28-0,79 абс.%, или на 16,6-45,1 отн.%, в дозе 10 кг/м² – на 0,42-1,47 абс.%, или на 30,0-84,0 отн.%. Такое воздействие торфа на почву общеизвестно и связано с высоким содержанием в его составе гумусовых веществ [15].

Внесение всех остальных мелиоративных добавок не оказало статистически достоверного влияния на содержание органического вещества в загрязнённой почве.

Оценку почв по обеспеченности элементами минерального питания проводят по содержанию в ней подвижного фосфора и обменного калия. Влияние мелиоративных добавок на содержание подвижного фосфора показано в таблице 4.

Данные таблицы 4 свидетельствуют, что содержание подвижного фосфора в почве опытного участка за весь период наблюдений колебалось в интервале от 115 до 150 мг/кг и относилось к группе «повышенное содержание», что является благоприятным для зональных почв. Загрязнение агродерново-подзолистой почвы сульфатом хрома привело к значительному (на 34-62 %) снижению в ней содержания подвижных форм фосфора за счёт образования в почве нерастворимого в воде соединения – CrPO₄.

Влияние мелиоративных добавок на содержание подвижного фосфора в загрязнённой почве определялось их химическим составом и дозой внесения. Наибольшее действие на этот показатель, закономерно, оказало внесение фосфорсодержащих мелиорантов, таких как фосфоритная мука и суперфосфат. Внесение фосфоритной муки в дозе 100 г/м² увеличило его 2,1-6,1 раза, в дозе 150 г/м² – в 3,5-9,1 раза. Эффективность действия данного мелиоранта в течение периода наблюдений постепенно уменьшалось, но даже на пятый год после его внесения было хорошо выражено,

Действие суперфосфата на содержание подвижного фосфора в почве было менее выражено и не всегда доказывалось статистически. Так, доза его внесения 9 г/м² увеличила этот показатель на 13-20 мг/кг, или на 12,9-21,5 %, а доза внесения 12 г/м² – на 19-40 мг/кг, или на 34,5-43,0 %.

Влияние остальных мелиоративных добавок на содержание подвижного фосфора статистически не доказано.

Изменение содержания обменного калия в почве показано в таблице 5.

В отличие от подвижного фосфора, его содержание в почве в течение периода наблюдений подвергалось более значительным колебаниям по годам. Даже в варианте без загрязнения и внесения мелиорантов его величина изменялась от 68 мг/кг (низкое содержание) до 191 мг/кг (высокое содержание), что, по-видимому, связано с различными погодными условиями вегетационных периодов. Загрязнение агродерново-подзолистой почвы Cr₂(SO₄)₃ привело к закономерному резкому увлечению в ней содержания обменного калия, особенно в первые два года (на 280-281 мг/кг), и даже на пятый год превышение составляло 125 мг/кг.

Изучаемые мелиоративные добавки не оказали статистически достоверного влияния на этот показатель, хотя по данным других наших опытов, при более низком содержании калия в почве внесение цеолита способствует его увеличению на 16-44 % [16].

Внесение всех изучаемых мелиоративных добавок позволило резко и статистически достоверно снизить в загрязнённых почвах содержание подвижных форм хрома, что подтверждает правильность их выбора для исследований. Характер их действия на этот показатель достаточно сильно колебался в течение периода наблюдений и зависел от вида мелиоративных добавок, дозы внесения и периода, прошедшего после их внесения. В первый год наблюдений наибольшее действие на содержание подвижных форм хрома оказало внесение в почву известняковой муки в дозе 12 т/га (снижение составило 225 мг/кг, или 63,7 %) и цеолита в дозе 100 т/га (снижение – 186 мг/кг, или 52,7 %). Эти же мелиоративные добавки проявили себя и в последствии, даже на пятый год после их внесения они обусловили снижение содержания подвижных форм хрома на 56 мг/кг (50,4 %) и 72 мг/кг (64,9 %) соответственно [12].

Выводы.

1. Все изучаемые мелиоративные добавки оказали положительное влияние на агрохимические показатели агродерново-подзолистой почвы, загрязнённой хромом. Характер и параметры этого влияния определялись их химическим составом, дозой внесения и периодом, прошедшим после внесения.

Таблица 4 – Изменение содержания подвижного фосфора в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелиоративных добавок, мг/кг /
Table 4 – Changes in the content of mobile phosphorus in soils, contaminated with chromium, under the action of ameliorative additives, mg/kg

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	120	-	120	-	115	-	150	-	141	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	55	-	55	-	43	-	101	-	93	-		
Фон + Рф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	315	260	335	280	200	157	214	113	215	122		
Фон + Рф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	329	274	354	299	393	350	354	253	341	248		
Фон + Рс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	70	15	70	15	63	20	114	13	112	19		
Фон + Рс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	92	37	74	19	70	27	133	32	133	40		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	51	-4	51	-4	37	-6	105	4	100	7		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	54	-1	54	-1	52	9	102	1	110	17		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	56	1	56	1	53	10	98	-3	95	2		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	62	7	62	7	63	20	98	-3	99	6		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	57	2	67	12	51	8	106	5	96	3		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	64	9	69	14	48	5	112	11	97	4		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	60	5	58	3	44	1	121	20	99	6		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	61	6	64	9	49	6	131	30	101	8		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅	-	33	-	46	-	58	-	40	-	39		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Рф – фосфоритная мука; Рс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pf – phosphorite flour; Ps – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

Таблица 5 – Изменение содержания обменного калия в почвах, загрязнённых хромом, под действием мелiorативных добавок, мг/кг /
Table 5 – Changes in the content of exchangeable potassium in soils contaminated with chromium under the influence of ameliorative additives, mg/kg

Вариант / Variant	Срок взятия образцов / Timing of sampling											
	26.08.2017		02.09.2018		21.08.2019		29.08.2020		26.08.2021			
	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation	среднее / average	отклонение / deviation		
Контроль / Control	96	-	191	-	68	-	99	-	85	-		
Контроль + Cr, 500 мг/кг – фон / Control + Cr, 500 mg/kg – background	377	-	471	-	235	-	237	-	210	-		
Фон + Pф, 100 г/м ² / Background + Pf, 100 g/m ²	402	25	490	19	248	13	218	-19	215	5		
Фон + Pф, 150 г/м ² / Background + Pf, 150 g/m ²	394	17	493	22	257	22	240	3	220	10		
Фон + Pс, 9 г/м ² / Background + Ps, 9 g/m ²	387	10	483	12	254	19	259	22	205	-5		
Фон + Pс, 12 г/м ² / Background + Ps, 12 g/m ²	404	27	495	24	262	27	246	9	209	-1		
Фон + Г.к., 3 г/м ² / Background + Ph, 3 g/m ²	385	8	481	10	251	16	250	13	225	15		
Фон + Г.к., 4 г/м ² / Background + Ph, 4 g/m ²	394	17	477	6	255	20	255	18	229	19		
Фон + И.м., 0,8 кг/м ² / Background + Lf, 0,8 kg/m ²	355	-22	494	23	211	-24	210	-27	247	37		
Фон + И.м., 1,2 кг/м ² / Background + Lf, 1,2 kg/m ²	353	-24	442	-29	230	-5	230	-7	263	53		
Фон + Торф, 5 кг/м ² / Background + Peat, 5 kg/m ²	370	-7	463	-8	235	0	219	-18	241	31		
Фон + Торф, 10 кг/м ² / Background + Peat, 10 kg/m ²	357	-20	446	-25	240	5	235	-2	243	33		
Фон + Цеолит, 5 кг/м ² / Background + Zeolite, 5 kg/m ²	366	-11	458	-13	265	30	239	2	201	-9		
Фон + Цеолит, 10 кг/м ² / Background + Zeolite, 10 kg/m ²	365	-12	457	-14	237	2	250	13	195	-15		
НСР ₀₅ / LSD ₀₅		50		67		25		35		43		

Примечания: Контроль – незагрязнённая почва; Pф – фосфоритная мука; Pс – суперфосфат; Г.к. – гумат калия; И.м. – известняковая мука /
Notes: Control – uncontaminated soil; Pф – phosphorite flour; Pс – super-phosphate; Ph – potassium humate; Lf – limestone flour

2. В загрязнённой хромом почве под воздействием известняковой муки статистически значимо снизилась почвенная кислотность (на 1,21-3,03 ед. рН_{KCl}) и увеличилась сумма обменных оснований (в 1,7-6,5 раза). Содержание подвижного фосфора в почве увеличилось при внесении фосфоритной муки (в 2,1-9,1 раза) и суперфосфата (на 13-43 %). Использование торфа привело к росту органического вещества (на 0,28-1,47 абс.%), цеолита – суммы обменных оснований (на 1,4-9,8 ммоль/100 г, или 12-239 %). Положительное действие данных мелиоративных добавок,

особенно повышенных их доз, прослеживалось в течение всех пяти лет наблюдений.

3. Гумат калия не оказал статистически достоверного влияния на приведённые агрохимические показатели, но его внесение способствовало повышению в загрязнённой почве содержания органического вещества и обменного калия на уровне положительной тенденции.

4. Эффективное действия всех изучаемых мелиоративных добавок на агрохимические показатели позволяет их рекомендовать в качестве мелиорантов для восстановления плодородия дерново-подзолистых почв, загрязнённых хромом.

Список литературы

1. Benhaddya M., Boukhelkhal A., Halis Y., Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2016;70(3):556-571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0244-6>
2. Edmondson J. L., Stott I., Davies Z. G., Gaston K. J., Leake J. R. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. Scientific Reports. 2016;7(1):33708. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33708>
3. Дьякова Н. А. Накопление тяжелых металлов и мышьяка в листьях крапивы двудомной (*Urtica Dioica* L.). Ульяновский медико-биологический журнал. 2020;(2):145-156. DOI: <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-145-156> EDN: SLPPZY
4. Реут А. А., Денисова С. Г. Содержание тяжелых металлов в сырье некоторых представителей рода *Paeonia* L. в условиях урбанизированной среды. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2021;16(4):337-352. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352> EDN: YSETJW
5. Hochberg M. E., Noble R. J. A framework for how environment contributes to cancer risk. Ecology Letters. 2017;20(2):117-134. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12726>
6. Loud J. T., Murphy J. Cancer Screening and Early Detection in the 21st Century. Seminars in Oncology Nursing. 2017;33(2):121-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2017.02.002>
7. Леднев А. В., Ложкин А. В., Безносков А. И. Тяжелые металлы в почвах Удмуртской Республики и приемы, снижающие их миграцию в системе, почва-растение. Ижевск: ФГБОУ ВП Ижевская ГСХА, 2016. 175 с.
8. Водяницкий Ю. Н., Ладонин Д. В., Савичев А. Т. Загрязнение почв тяжелыми металлами. М.: ГНУ Почвенный ин-т им. В. В. Докучаева РАСХН, 2012. 276 с.
9. Алексеев Ю. В. Тяжелые металлы в почвах и растениях. Л.: Агропромиздат, Ленингр. отд-ние, 1987. 142 с.
10. Bisessar S. Effect of lime on nickel uptake and toxicity in celery grown on muck soil contaminated by a nickel refinery. Science of The Total Environment. 1989;84:83-90. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90372-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90372-0)
11. Шильников И. А., Сычев В. Г., Зеленов Н. А., Аканова Н. И., Федотова Л. С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
12. Леднев А. В., Ложкин А. В., Поздеев Г. А. Научные основы ремедиации почв, загрязнённых хромом. Агрохимический вестник. 2022;(6):78-82. DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-015> EDN: KOJDDU
13. Лапа В. В. Известкование кислых почв в комплексе мероприятий по сохранению и повышению их плодородия. Земледелие и защита растений. 2018;(52):26-29.
14. Окорков В. В. Поглощающий комплекс и механизм известкования кислых почв. Владимир: ВОО ВОИ, 2004. 181 с.
15. Ягодин Б. А. Кольцо жизни. М., 2002. 135 с.
16. Леднев А. В., Ложкин А. В., Поздеев Г. А. Влияние мелиоративных добавок на агрохимические показатели агродерново-подзолистой почвы, загрязнённой никелем. Агрохимический вестник. 2019;(6):67-74. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10094> EDN: DHXKFC

References

1. Benhaddya M., Boukhelkhal A., Halis Y., Hadjel M. Human health risks associated with metals from urban soil and road dust in an oilfield area of Southeastern Algeria. Archives of Environmental Contamination and Toxicology. 2016;70(3):556-571. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00244-015-0244-6>
2. Edmondson J. L., Stott I., Davies Z. G., Gaston K. J., Leake J. R. Soil surface temperatures reveal moderation of the urban heat island effect by trees and shrubs. Scientific Reports. 2016;7(1):33708. DOI: <https://doi.org/10.1038/srep33708>

3. Dyakova N. A. Accumulation of heavy metals and arsenic in great nettle (*Urtica Dioica* L.) leaf tissues. *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* = Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2020;(2):145-156. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2020-2-145-156>
4. Reut A. A., Denisova S. G. The content of heavy metals in the raw materials of some representatives of the genus *Paeonia* L. in an urbanized environment. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2021;16(4):337-352. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2021-16-4-337-352>
5. Hochberg M. E., Noble R. J. A framework for how environment contributes to cancer risk. *Ecology Letters*. 2017;20(2):117-134. DOI: <https://doi.org/10.1111/ele.12726>
6. Loud J. T., Murphy J. Cancer Screening and Early Detection in the 21st Century. *Seminars in Oncology Nursing*. 2017;33(2):121-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soncn.2017.02.002>
7. Lednev A. V., Lozhkin A. V., Beznosov A. I. Heavy metals in the soils of the Udmurt Republic and methods that reduce their migration in the soil-plant system. Izhevsk: *FGBOU VP Izhevskaya GSKhA*, 2016. 175 p.
8. Vodyanitskiy Yu. N., Ladonin D. V., Savichev A. T. Soil pollution with heavy metals. Moscow: *GNU Pochvennyy in-t im. V. V. Dokuchaeva RASKhN*, 2012. 276 p.
9. Alekseev Yu. V. Heavy metals in soils and plants. Leningrad: *Agropromizdat, Leningr. otd-nie*, 1987. 142 p.
10. Bisessar S. Effect of lime on nickel uptake and toxicity in celery grown on muck soil contaminated by a nickel refinery. *Science of The Total Environment*. 1989;84:83-90. DOI: [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(89\)90372-0](https://doi.org/10.1016/0048-9697(89)90372-0)
11. Shilnikov I. A., Sychev V. G., Zelenov N. A., Akanova N. I., Fedotova L. S. Liming as a factor in productivity and soil fertility. Moscow: *VNIIA*, 2008. 340 p.
12. Lednev A. V., Lozhkin A. V., Pozdeev G. A. Scientific basis of remediation of soils contaminated with chromium. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2022;(6):78-82. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2022-6-015>
13. Lapa V. V. Liming of acidic soils in a complex of measures to preserve and increase their fertility. *Zemledelie i zashchita rasteniy*. 2018;(52):26-29.
14. Okorkov V. V. Absorption complex and mechanism of liming of acidic soils. Vladimir: *VOOO VOI*, 2004. 181 p.
15. Yagodin B. A. Ring of life. Moscow, 2002. 135 p.
16. Lednev A. V., Lozhkin A. V., Pozdeev G. A. Effect of land reclamation additives on agrochemical indicators of agro-soddy-podzolic soil contaminated with nickel. *Agrokhimicheskii vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(6):67-74. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10094>

Сведения об авторах

✉ **Леднев Андрей Викторович**, доктор с.-х. наук, руководитель, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8602-768x>, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Ложкин Андрей Владимирович, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник управления НИР, Удмуртский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Ленина 1, с. Первомайский, Завьяловского района, Российская Федерация, 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9654-7462>

Поздеев Геннадий Анатольевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Удмуртский государственный аграрный университет», ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Российская Федерация, 426069, e-mail: info@udsau.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8742-5607>

Information about the authors

✉ **Andrey V. Lednev**, DSc in Agricultural Science, head of the Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavialovsky district, Russian Federation, 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-8602-768x>, e-mail: av-lednev@yandex.ru

Andrey V. Lozhkin, PhD in Agricultural Science, senior researcher of Research Department, Udmurt Scientific Research Institute of Agriculture – Branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», st. Lenin, 1, v. Pervomaisky, Zavialovsky district, Russian Federation, 427007, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9654-7462>

Gennadiy A. Pozdeev, post-graduate student, Udmurt State Agricultural University, 11, Studencheskaya str., Izhevsk, Russian Federation, 426069, e-mail: info@udsau.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8742-5607>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние хелатной формы железа на его подвижность и фитодоступность при внесении в почву

© 2023. Е. В. Товстик✉, А. В. Захаров

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

*Несмотря на известные механизмы поглощения железа растениями из почвы, а также модели поведения ионов металла в почвах, борьба с дефицитом данного микроэлемента у растений не теряет своей актуальности. В статье представлены результаты оценки влияния хелатных комплексов трехвалентного железа с диэтилен-триаминпентауксусной (ДТПА Fe) и этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА Fe) кислотами на подвижность и доступность железа для растений в почве с реакцией среды, близкой к нейтральной. В модельном опыте с использованием дренажных колонок установлены закономерности распределения железа в толще почвы и его вынос с поливными водами из прикорневой зоны растений (10 см). На фоне однотипного распределения железа в почве отмечали более высокое содержание его подвижных форм в нижних слоях при использовании ЭДТА Fe. Выщелачивание железа из почвы отмечалось как при использовании ДТПА Fe, так и ЭДТА Fe. В условиях вегетационного опыта изучено влияние хелатных форм на накопление железа в растениях ячменя (*Hordeum vulgare* L.) в период их начального роста (11 суток). Содержание железа в побегах варьировало от 120 до 140 мкг/г, в корнях – от 233 до 244 мкг/г, при содержании в контрольном образце 200 мкг/г. Наибольшее накопление железа в проростках отмечали на уровне корневой системы в варианте опыта с ЭДТА Fe. Данные по накоплению железа в корнях ячменя коррелировали ($r = 0,99$) с данными по их зольности.*

Ключевые слова: железо, хелатный комплекс, диэтилен-триаминпентауксусная кислота, этилендиаминтетрауксусная кислота, мобильность, дренажная колонка, выщелачивание

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Товстик Е. В., Захаров А. В. Влияние хелатной формы железа на его подвижность и фитодоступность при внесении в почву. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(1):107-113.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.107-113>

Поступила: 31.10.2022

Принята к публикации: 01.02.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The effect of the chelated form of iron on its mobility and phytoavailability when applied to the soil

© 2023. Evgeniya V. Tovstik✉, Andrey V. Zakharov

Vyatka State University, Kirov, Russian Federation

*In spite of well-known mechanisms of iron consumption by plants from the soil and action patterns of iron ions in the soils, the work to eliminate the deficiency of this trace element in plants is still relevant. The article presents an assessment of the effect of iron (III) chelate complexes with diethylenetriaminepentaacetic acid (DTPA Fe) and ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA Fe) on the mobility and availability of iron for plants in soil with a pH close to neutral. In a model experiment with using of drainage columns, there were established the patterns of iron distribution in the soil and its removal with irrigation water from the root zone of plants (10 cm). Against the background of similar distribution of iron in the soil, a higher content of its mobile forms in the lower layers was noted when using EDTA Fe. The leaching of iron from the soil was confirmed using both DTPA Fe and EDTA Fe. The vegetation experiment revealed the effect of chelate forms on the accumulation of iron in barley plants (*Hordeum vulgare* L.) during their early growth period (11 days). The iron content in the shoots varied from 120 to 140 µg/g, in the roots – from 233 to 244 µg/g, with a content of 200 µg/g in the control sample. A significant contribution to the accumulation of iron in barley seedlings was observed at the level of the root system in the experiment with EDTA Fe. Data on the accumulation of iron in barley roots were correlated ($r = 0.99$) with data on their ash content.*

Keywords: iron, chelate complex, diethylenetriaminepentaacetic acid, ethylenediaminetetraacetic acid, mobility, drainage column, leaching

Acknowledgements: the research was carried out without financial support within initiative theme.

The authors thank the reviewers for their comments to improve the manuscript for the publication.

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

For citations: Tovstik E. V., Zakharov A. V. The effect of the chelated form of iron on its mobility and phytoavailability when applied to the soil. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):107-113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.107-113>

Received: 31.10.2022

Accepted for publication: 01.02.2023

Published online: 27.02.2023

Широкий спектр клеточных процессов, в которых принимают участие микроэлементы, определяет значимую роль этой группы химических веществ в жизни растений [1, 2]. Как избыток, так и недостаток микроэлементов опасен для растений, поскольку угнетает их рост, и может приводить к гибели [3, 4].

Дефицит железа в растениях, возникающий чаще всего в почвах с щелочной реакцией среды, является распространенной проблемой сельскохозяйственного производства [5]. Известно, что с каждым увеличением на единицу значения рН почвы растворимость соединений железа уменьшается ориентировочно в 1000 раз [6]. Для компенсации дефицита железа в почве используют его водорастворимые неорганические соли и хелаты. Последние позволяют не только восполнить запас железа в почве, но и обогатить растениеводческую продукцию микроэлементами, улучшить фитосанитарное состояние посевов [7, 8, 9, 10].

Наряду с доказанной эффективностью, имеются сведения о том, что внесение хелатов в почву может сопровождаться переводом недоступных для растений форм микроэлементов, содержащихся в почве, в более доступные, подвижные формы [11]. В связи с этим возникают опасения, связанные с повышением ионной токсичности металлов в почве [12]. В пользу данного заключения говорит факт использования хелаторов в качестве экстрагентов потенциально токсичных металлов из почвы [13].

Диэтиленetriаминпентауксусная и этилендиаминтетрауксусная кислоты представляют собой синтетические комплексообразователи, которые широко используются в качестве секвестрантов металлов [14]. Имея сходную

структуру, они образуют с ионами железа (III) хелатные комплексы, имеющие относительно низкую стабильность в щелочных условиях [15]. При этом отмечается, что ДТПА Fe, по сравнению с ЭДТА Fe, при высоких значениях рН (до 7) более стабилен.

Цель исследований – сравнительная оценка подвижности и фитодоступности железа при корневой подкормке ДТПА Fe и ЭДТА Fe в почвах с реакцией среды, близкой к нейтральной.

Научная новизна работы – изучена подвижность железа в почве, показаны различия в выщелачивании железа из прикорневой зоны растений при использовании хелатных комплексов трехвалентного железа с диэтиленetriаминпентауксусной и этилендиаминтетрауксусной кислотами.

Материал и методы. Эксперимент проводили в лабораторных условиях. Объектами исследований являлись хелатные комплексы железа (III) с диэтиленetriаминпентауксусной (ДТПА Fe) и этилендиаминтетрауксусной (ЭДТА Fe) кислотами в препаративной форме микроудобрений (Россия). Содержание железа в ДТПА Fe и ЭДТА Fe составляло соответственно 11 и 13 %. Норма внесения – 6,04 г/м² в пересчете на железо.

Всего в ходе эксперимента было проведено две серии опытов с использованием растений и дренажных колонок. Варианты опыта включали: контроль (без удобрений) и два варианта с внесением удобрений в виде ДТПА Fe и ЭДТА Fe. Для опыта использовали агропочву, пробы которой были отобраны на территории Кировской области (табл.).

Таблица – Основные физико-химические характеристики почвы / Table – The main physical and chemical indicators of the soil

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>Значение / Value</i>	<i>Описание / Description</i>
pH _{KCl}	5,6±0,1	Реакция, близкая к нейтральной / Reaction is close to neutral
pH _{H₂O}	6,5±0,1	Нейтральная реакция / Neutral reaction
C _{орг.} , %	1,20±0,20	Низкая обеспеченность для растений, малогумусная почва / Low supply for plants, low humus soil
NO ₃ ⁻ , мг/кг	2,6±0,3	Низкая обеспеченность для растений / Low supply for plants
P ₂ O ₅ , мг/кг	72,6±3,5	Средняя обеспеченность для растений / Average supply for plants
K ₂ O, мг/кг	81±12	

В опытах с растениями использовали семена ярового ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Белгородский 100 (ОАО Научно-произ-

водственная фирма «Белселект»). Выбор данного сорта в качестве тест-объекта был связан с его включением в Госреестр по Волго-

Вятскому региону и рекомендацией для возделывания в Кировской области. В рамках эксперимента с растениями проводили сравнительную оценку накопления железа в проростках ячменя, а также устанавливали их зольность. Для этого в пластиковые контейнеры, наполненные почвой, засевали семена (100 шт.), увлажняли дистиллированной водой. После появления первых всходов осуществляли однократный пролив почвы растворами хелатов железа. В контрольном варианте увлажнение почвы проводили дистиллированной водой. Выращивание растений осуществляли в лабораторных условиях (20 ± 2 °С; естественная освещенность) в течение 11 суток.

Опыт с дренажными колонками проводили с целью исследования влияния хелатных форм удобрений на подвижность железа в почве. Для этого в каждую колонку, наполненную почвой (1 кг, слой почвы толщиной 10 см), на основе расчетных значений величины полной влагоемкости (70,4 %) и оптимальной влажности (50,0 %) вносили дистиллированную воду и растворы хелатов железа путем разбрызгивания. Контролем служила почва без внесения удобрений.

В течение 10 суток с интервалом 1 сутки осуществляли пролив почвы в колонках путем разбрызгивания дистиллированной водой (200 мл) с одновременным сбором фильтрационной воды и учетом ее объема. Результаты опыта представляли в виде накопительных кривых на графиках, отражающих массу вымытого железа (III) из колонки.

По окончании эксперимента разделяли почвенный столб в колонках на 3 сектора послойно (верхний 0-3 см, средний 3-7 см, нижний 7-10 см) для исследования содержания в них подвижных соединений железа.

Содержание железа в проростках, пробах почвы и фильтрационной воды определяли на атомно-абсорбционном спектрометре («Спектр-5-4», Россия). Экстрагирование железа из почвы осуществляли ацетатно-аммонийным буферным раствором (рН = 4,8). Растения перед проведением исследования подвергали сухой минерализации с последующим переводом золы в раствор минерализата азотной кислотой¹. По данным сухой минерализации

проростков дополнительно определяли их зольность.

Статистическую обработку результатов измерений проводили с использованием программы Microsoft Excel. Для оценки числовых характеристик исследуемых показателей рассчитывали средние арифметические значения и стандартные ошибки. Существенность различий между вариантами определяли при уровне значимости $P \leq 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Согласно нормативным документам, железо не относится к категории опасных веществ, для него не регламентированы величины ПДК и ОДК в почве². Однако, по данным литературы, известно, что в дерново-подзолистых почвах, характерных для территории Кировской области, содержание подвижных соединений железа может достигать 280 мг/кг. Оптимальный уровень легкоподвижных соединений железа в почвах для разных культур отмечается на уровне 1,3-7,0 мг/кг [16].

По результатам проведенных исследований, содержание подвижных соединений железа в почве контрольной колонки составляло $8,7 \pm 1,0$ мг/кг, что соответствовало оптимальному уровню его содержания в почве. В условиях применения хелатных форм удобрений содержание подвижных соединений железа в почве, по сравнению с контролем, возрастало до 32,9-43,0 мг/кг. При этом характер распределения железа в толще почвы был однотипен для исследованных хелатов (рис. 1).

Наибольшее содержание подвижных соединений железа фиксировали в верхнем слое почвы. Степень перемещения ионов железа в толще почвы отражало способность хелатов удерживать их в подвижных формах. Так, по сравнению с ЭДТА Fe, в условиях применения ДТПА Fe фиксировали более низкое содержание подвижных соединений железа в нижних слоях почвы, что могло свидетельствовать об их закреплении в почве.

Исследование концентрации ионов железа (III) в фильтрационных водах указывало на более высокую степень выщелачивания железа из почвы, в случае применения ЭДТА Fe (рис. 2).

¹Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. 2-е изд., перераб. и доп. М.: ЦИНАО, 1992. 61 с.

²СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. 2021. URL: <https://fsvps.gov.ru/sites/default/files/npa-files/2021/01/28/sanpin1.2.3685-21.pdf>

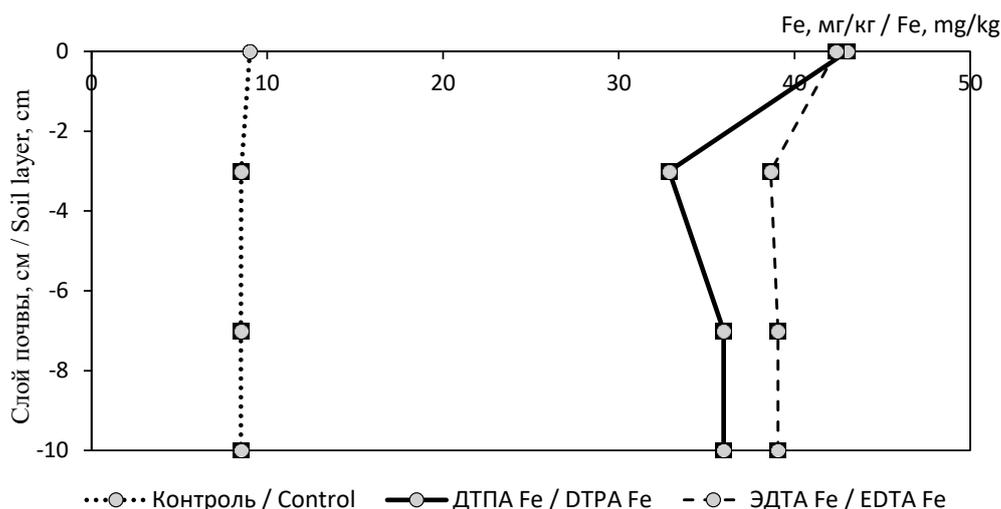


Рис. 1. Содержание и распределение подвижных соединений железа в толще почвы при внесении хелатных форм удобрений (на момент окончания опыта) /

Fig. 1. Content and distribution of mobile iron compounds in the soil layer when applying chelated forms of fertilizers (at the end of the experiment)

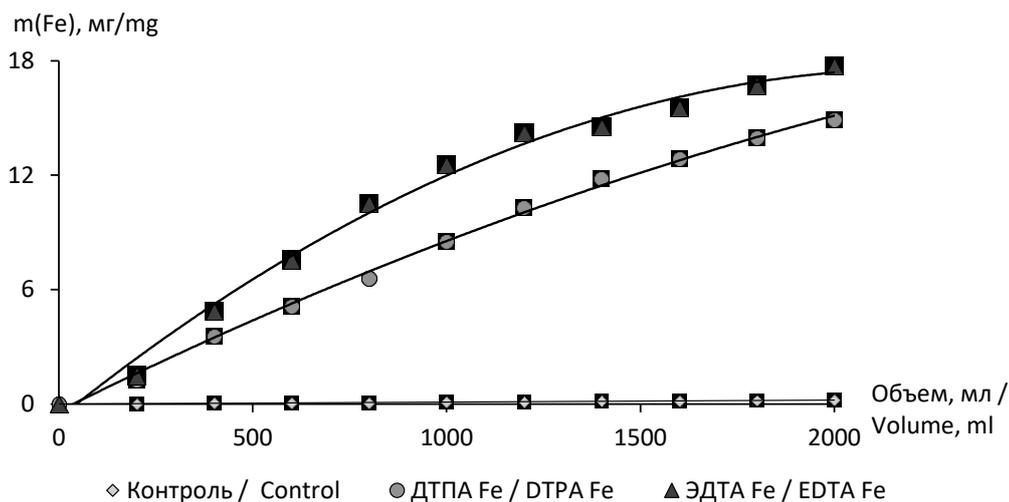


Рис. 2. Динамика вымывания ионов железа (III) из почвы при внесении хелатных форм удобрений /
 Fig. 2. Dynamics of leaching of iron (III) ions from the soil when applying chelated forms of fertilizers

При этом следует отметить, что на первоначальных этапах наблюдений (объем промывных вод до 600 мл) разница в массе вымытого железа из почвы между ЭДТА Fe и ДТПА Fe была меньше (2,4 мг). С увеличением объема воды (800-1200 мл), прошедшей через колонки, разница в значениях увеличивалась до 4,0 мг.

Несмотря на то, что содержание подвижных форм железа в почве контрольного варианта было в 4-5 раз меньше, чем в варианте с хелатами (8,7±1,0 мг/кг – контрольный вариант; 32,9-43,0 мг/кг – опыт), отличную от контрольного варианта фитоэкстракцию железа

удалось установить только в случае ЭДТА Fe (рис. 3).

Известно, что доступность железа в почве для растений определяется многими факторами. Один из них pH почвенного раствора. При высоком содержании железа в почве его фитоэкстракция может быть низкой в связи со связыванием железа в труднорастворимые соединения при нейтральной реакции почвенной среды [17]. Согласно физико-химическим характеристикам, уровень pH солевой вытяжки из почв составил 5,6 ед., что соответствовало реакции среды, близкой к нейтральной (табл.).

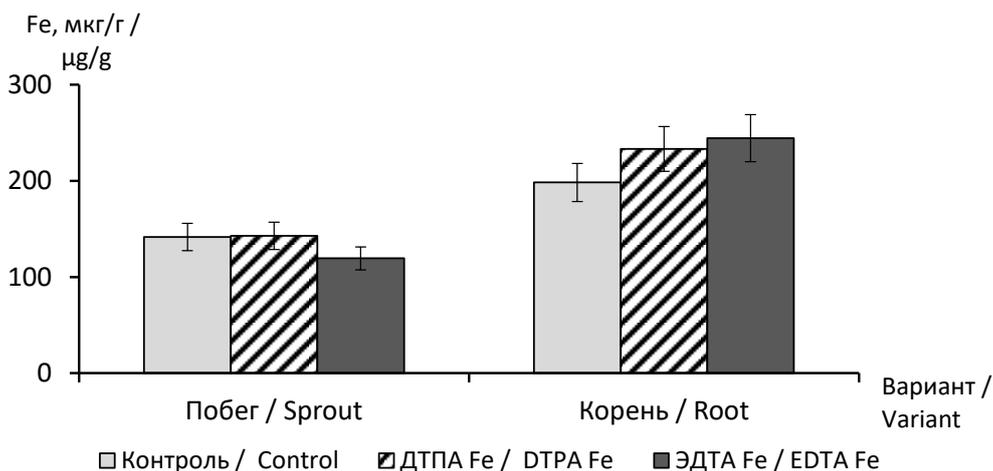


Рис. 3. Влияние хелатных форм удобрений на содержание железа в 11-суточных проростках ячменя /
Fig. 3. The effect of chelated forms of fertilizers on the iron content in 11-day-old barley seedlings

Неоднозначен также характер поведения комплексона и иона металла при контакте с растением. Установлено, что в этих условиях микроэлемент попадает внутрь растительной клетки без хелатора. Таким образом, главная роль комплексона заключается в транспортной функции и поддержании устойчивости комплекса в почве [18].

Известно, что железо в большей степени накапливается в корнях, в меньшей степени – в стеблях и листьях. В некоторых случаях достоверных различий в содержании железа в надземных и подземных органах растений не обнаруживается [19, 20]. Согласно полученным данным, независимо от варианта опыта более высокое накопление железа фиксировали в корнях. Содержание железа в побегах варьировало от 120 до 140 мкг/г, достоверных различий между контролем и опытными вариантами установлено не было. Более высокое накопление железа в корнях, по сравнению с контролем (200 мкг/г), отмечали в варианте опыта с хелатными формами удобрений (233-244 мкг/г).

Данные по накоплению железа в корнях ячменя коррелировали ($r = 0,99$) с данными

по их зольности (контроль – 7,2; ЭДТА Fe – 7,4; ДТПА Fe – 8,8 %).

Заключение. Дефицит железа у растений является распространенной проблемой на территориях, для которых характерны почвы с щелочной реакцией среды. Для ее решения применяют синтетические хелаты трехвалентного железа. Испытание микроудобрений железа в хелатной форме в почвах с рН среды, близкой к нейтральной, позволило установить, что ЭДТА Fe является более мобильным источником железа, чем ДТПА Fe.

Применение хелатных комплексов трехвалентного железа с диэтилентриаминпентауксусной и этилендиаминтетрауксусной кислотами при корневой подкормке в дозе 6,04 г/м² (в пересчете на железо) позволило увеличить содержание подвижных соединений железа в почве с 8,7 мг/кг до 32-43 и 38-43 мг/кг соответственно. Независимо от хелатной формы, на первоначальных этапах развития растений железо в большей степени накапливается в корнях, чем в побегах. Более высокое (на 44 мкг/г), относительно контроля, накопление железа в корнях ячменя зафиксировано в варианте опыта с ЭДТА Fe.

Список литературы

1. Assunção A. G. L., Cakmak I., Clemens S., González-Guerrero M., Nawrocki A., Thomine S. Micronutrient homeostasis in plants for more sustainable agriculture and healthier human nutrition. *Journal of Experimental Botany*. 2022;73(6):1789-1799. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erac014>
2. Собиров С. К. У., Турсунов Ж. И., Жалолов И. Ж., Камчиева Х. А. Определение и анализ микро-и макроэлементов растения *Glaucium elegans*, произрастающего в Узбекистане, методом нейтронной активации. *Universum: химия и биология*. 2021;5(83):76-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45765948> EDN: DUSQWG
3. Singh R., Mahajan J., Arora S., Bhardwaj R., Kaur T. Physiological role of mineral nutrition and their uptake during abiotic stress. *Environmental Stress Physiology of Plants and Crop Productivity*. 2021. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.2174/9781681087900121010009>
4. Zewide I., Sherefu A. Review Paper on Effect of Micronutrients for Crop Production. *Journal of Nutrition and Food Processing*. 2021;4(7):1-8. DOI: <https://doi.org/10.31579/2637-8914/063>

5. Gautam C. K., Tsai H. H., Schmidt W. Ironman tunes responses to iron deficiency in concert with environmental pH. *Plant Physiology*. 2021;187(3):1728-1745. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab329>
6. Gondal A. H., Hussain I., Ijaz A. B., Zafar A., Ch B. I., Zafar H., Sohail M. D., Niazi H., Touseef M., Khan A. A., Tariq M., Yousuf H., Usama M. Influence of Soil Ph and Microbes on Mineral Solubility and Plant Nutrition: A Review. *International Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 2021;5(1):71-81. URL: <https://zenodo.org/record/4625364>
7. Chaudhari D., Mehta P., Chaudhary N., Yadav M. Iron Ferti-fortification in grain Amaranthus (*Amaranthus hypochondriacus* L.). *The Pharma Innovation Journal*. 2021;10(3):635-638. URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2021&vol=10&issue=3&ArticleId=5843>
8. Красильников В. В., Ложкин М. А., Коробейникова О. В. Влияние хелатных микроудобрений на фитосанитарное состояние, урожайность и качество зерна яровой пшеницы Йолдыз. Научные инновации в развитии отраслей АПК: материалы Междунар. науч.-практ. конф. Ижевск: ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2020. Т. 1. С. 45-49.
9. Сазанов А. В., Товстик Е. В., Козвонин В. А., Казакова А. А. Оценка биодоступности хелатного цинка в различных типах почвы. *Теоретическая и прикладная экология*. 2021;(1):181-187. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-181-187> EDN: TIJFHN
10. Pakhomova V. M., Daminova A. I. Chelated micronutrient fertilizers as effective antioxidants applied for foliar plant treatment. *BIO Web Conf. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources»*. 2020;17:00057. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700057>
11. Макаренко Д. А., Глушко А. Н., Убаськина Ю. А., Поплевин Д. С. Основы создания средств комплексного управления развитием растений, обеспечивающих повышение производительности сельскохозяйственных культур. Спецвыпуск «Фотон-экспресс наука 2019». 2019;(6):68-69. DOI: <https://doi.org/10.24411/2308-6920-2019-16030>
12. Иванищев В. В. Роль железа в биохимии растений. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2019;(3):149-159. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41175096> EDN: YHJHZC
13. Hasegawa H., Al Mamun M. A., Tsukagoshi Y., Ishii K., Sawai H., Begume Z. A., Asami M. S., Maki T., Rahman I. M. M. Chelator-assisted washing for the extraction of lead, copper, and zinc from contaminated soils: A remediation approach. *Applied Geochemistry*. 2019;109:104397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104397>
14. Sillanpää M. Environmental Fate of EDTA and DTPA. Part of the Reviews of Environmental Contamination and Toxicology book series. 1997;152:85-111. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1964-4_3
15. Abbaszadeh-Dahaji P., Masalehi F., Akhgar A. Improved Growth and Nutrition of Sorghum (*Sorghum bicolor*) Plants in a Low-Fertility Calcareous Soil Treated with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Fe-EDTA. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;20:31-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00098-9>
16. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Содержание тяжелых металлов (Zn, Cu, Mn, Fe) в агропочвах нечерноземной зоны России в условиях применения минеральных удобрений (на примере г. Кирова). *Экобиотех*. 2019;2(3):302-306. DOI: <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-3-302-306> EDN: IIIJMR
17. Иванищев В. В. Доступность железа в почве и его влияние на рост и развитие растений. *Известия Тульского государственного университета. Естественные науки*. 2019;(3):127-136. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41175094> EDN: ABRVWT
18. Петухов Д. В., Измestьев Е. С., Сазанов А. В., Зайцев М. А., Товстик Е. В. Применение аминокислот и их хелатных комплексов с микроэлементами в питании растений (обзор). *Теоретическая и прикладная экология*. 2022;(1):167-174. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-167-174> EDN: TGQXRF
19. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006;88(11):1707-1719. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>
20. Симонова О. А., Симонов М. В., Товстик Е. В. Сортовые особенности биоаккумуляции железа в растениях ячменя. *Таврический вестник аграрной науки*. 2020;3(23):142-151. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43992269> EDN: DREVPS

References

1. Assunção A. G. L., Cakmak I., Clemens S., González-Guerrero M., Nawrocki A., Thomine S. Micronutrient homeostasis in plants for more sustainable agriculture and healthier human nutrition. *Journal of Experimental Botany*. 2022;73(6):1789-1799. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erac014>
2. Sobirov S. K. U., Tursunov Zh. I., Zhalolov I. Zh., Kamchieva Kh. A. Determination and analysis of micro - and macroelements of the plant *glauicum elegans* growing in Uzbekistan by the method of neutron activation. *Universum: khimiya i biologiya*. 2021;5(83):76-79. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45765948>
3. Singh R., Mahajan J., Arora S., Bhardwaj R., Kaur T. Physiological role of mineral nutrition and their uptake during abiotic stress. *Environmental Stress Physiology of Plants and Crop Productivity*. 2021. pp. 75-88. DOI: <https://doi.org/10.2174/9781681087900121010009>
4. Zewide I., Sherefu A. Review Paper on Effect of Micronutrients for Crop Production. *Journal of Nutrition and Food Processing*. 2021;4(7):1-8. DOI: <https://doi.org/10.31579/2637-8914/063>
5. Gautam C. K., Tsai H. H., Schmidt W. Ironman tunes responses to iron deficiency in concert with environmental pH. *Plant Physiology*. 2021;187(3):1728-1745. DOI: <https://doi.org/10.1093/plphys/kiab329>
6. Gondal A. H., Hussain I., Ijaz A. B., Zafar A., Ch B. I., Zafar H., Sohail M. D., Niazi H., Touseef M., Khan A. A., Tariq M., Yousuf H., Usama M. Influence of Soil Ph and Microbes on Mineral Solubility and Plant Nutrition: A Review. *International Journal of Agriculture and Biological Sciences*. 2021;5(1):71-81. URL: <https://zenodo.org/record/4625364>

7. Chaudhari D., Mehta P., Chaudhary N., Yadav M. Iron Ferti-fortification in grain Amaranthus (*Amaranthus hypochondriacus* L.). The Pharma Innovation Journal. 2021;10(3):635-638.
URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/?year=2021&vol=10&issue=3&ArticleId=5843>
8. Krasilnikov V. V., Lozhkin M. A., Korobeynikova O. V. Influence of chelate micronutrient fertilizers on the phytosanitary state, yield and grain quality of Yoldyz spring wheat. Scientific innovations in the development of agro-industrial complex: Proceedings of the Intern. scientific-practical conf. Izhevsk: FGBOU VO Izhevskaya GSKhA, 2020. Vol. 1. pp. 45-49.
9. Sazanov A. V., Tovstik E. V., Kozvonin V. A., Kazakova A. A. Assessment of the bioavailability of chelated zinc in various soil types. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2021;(1):181-187. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-1-181-187>
10. Pakhomova V. M., Daminova A. I. Chelated micronutrient fertilizers as effective antioxidants applied for foliar plant treatment. BIO Web Conf. International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». 2020;17:00057. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700057>
11. Makarenkov D. A., Glushko A. N., Ubaskina Yu. A., Poplevin D. S. Fundamentals of creating means of integrated management of plant development, providing an increase in the productivity of crops. *Spetsvyпуск «Foton-ekspress nauka 2019»*. 2019;(6):68-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2308-6920-2019-16030>
12. Ivanishchev V. V. Role of iron in plant biochemistry. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2019;(3):149-159. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41175096>
13. Hasegawa H., Al Mamun M. A., Tsukagoshi Y., Ishii K., Sawai H., Begume Z. A., Asami M. S., Maki T., Rahman I. M. M. Chelator-assisted washing for the extraction of lead, copper, and zinc from contaminated soils: A remediation approach. *Applied Geochemistry*. 2019;109:104397. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2019.104397>
14. Sillanpää M. Environmental Fate of EDTA and DTPA. Part of the Reviews of Environmental Contamination and Toxicology book series. 1997;152:85-111. DOI: https://doi.org/10.1007/978-1-4612-1964-4_3
15. Abbaszadeh-Dahaji P., Masalehi F., Akhgar A. Improved Growth and Nutrition of Sorghum (*Sorghum bicolor*) Plants in a Low-Fertility Calcareous Soil Treated with Plant Growth-Promoting Rhizobacteria and Fe-EDTA. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020;20:31-42. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-019-00098-9>
16. Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. Content of heavy metals (zn, cu, mn, fe) in agrosols of a nonchernozem zone of russia in the conditions of application of mineral fertilizers (on the example of Kirov). *Ekobiotech = Ecobiotech*. 2019;2(3):302-306. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31163/2618-964X-2019-2-3-302-306>
17. Ivanishchev V. V. A vailability of iron in the soil and its infl uence the plant growth and development. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2019;(3):127-136. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41175094>
18. Petukhov D. V., Izmetev E. S., Sazanov A. V., Zaytsev M. A., Tovstik E. V. The use of amino acids and their chelate complexes with trace elements in plant nutrition (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(1):167-174. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-1-167-174>
19. Clemens S. Toxic metal accumulation, responses to exposure and mechanisms of tolerance in plants. *Biochimie*. 2006;88(11):1707-1719. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biochi.2006.07.003>
20. Simonova O. A., Simonov M. V., Tovstik E. V. Varietal features of iron bioaccumulation in barley plants. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2020;3(23):142-151. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43992269>

Сведения об авторах

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

Захаров Андрей Витальевич, преподаватель кафедры фундаментальной химии и методики обучения химии, ФГБОУ ВО «Вятский государственный университет», ул. Московская, д. 36, г. Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6182-8800>

Information about the authors

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

Andrey V. Zakharov, teacher, the Department of Basic Chemistry and Chemistry Training Methodology, Vyatka State University, Moskovskaya St., 36, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: info@vyatsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6182-8800>

☒ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.114-124>



УДК 636.085.3

Изучение острой и хронической токсичности кормовой добавки на основе вермикультуры

© 2023. К. О. Малышева¹✉, Т. А. Кашина², А. А. Шутова²,
С. Ю. Солodников¹, В. В. Литвинов³, О. О. Мехоношина⁴

¹ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», г. Пермь, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пермь, Российская Федерация

³ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Пермь, Российская Федерация

⁴ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, г. Москва, Российская Федерация

В работе представлены результаты изучения токсичности кормовой добавки, включающей в себя лезвею сафлоровидную (*Rhaponticum carthamoides*) и белок, полученный из вермикультуры. Острая токсичность кормовой добавки была изучена на 31 белой крысе линии SD. Установлено, что острая пероральная токсичность кормовой добавки свыше 2500 мг/кг, что позволяет отнести ее к 3 классу опасности и классифицировать как «умеренно опасную» согласно ГОСТ 12.1.007-76. Хроническую токсичность кормовой добавки изучали на 22 белых крысах линии SD, которую вводили перорально в дозах 120 и 1200 мг/кг в течение 30 дней. Отдаленные эффекты оценивали спустя 14 дней после последнего введения кормовой добавки. Для оценки токсических эффектов было определено влияние добавки на общее состояние животных, потребление пищи и воды. Исследовали кровь и мочу. Общий анализ крови проводили стандартными методами с определением следующих показателей: гематокрит, уровень гемоглобина, количество эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, эозинофилов, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов и моноцитов. Исследование биохимических показателей крови проводили с использованием стандартных наборов для биохимического анализа. Определялись следующие показатели: АЛТ, общий билирубин, глюкоза, креатинин, мочевины. Исследование мочи включало определение следующих показателей: плотность, лейкоциты, нитриты, рН, эритроциты, белок, глюкоза, аскорбиновая кислота, кетоны, уробилиноген, билирубин. Статистически достоверной разницы в показателях крови и мочи между животными контрольной и опытных групп установлено не было. Проводилось патогистологическое исследование желудка, печени, почек и сердца, которое показало отсутствие токсического действия кормовой добавки. Местнораздражающее действие изучалось в патоморфологических исследованиях. Установлено, что кормовая добавка не обладает раздражающим действием в месте введения. Таким образом, кормовую добавку можно использовать в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц в рекомендуемой дозе.

Ключевые слова: *Rhaponticum carthamoides*, параметры безопасности, местнораздражающее действие, общий анализ крови, биохимия крови, общий анализ мочи, патогистологическое исследование

Благодарности: работа выполнена при поддержке ФГБУ «Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере» в рамках соглашения от 24.12.2020. Проект направлен на реализацию программы деятельности НОЦ мирового уровня «Рациональное недропользование».

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Малышева К. О., Кашина Т. А., Шутова А. А., Солodников С. Ю., Литвинов В. В., Мехоношина О. О. Изучение острой и хронической токсичности кормовой добавки на основе вермикультуры. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):114-124. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.114-124>

Поступила: 25.11.2022

Принята к публикации: 07.02.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Study of acute and chronic toxicity of feed additive based on vermiculture

© 2023. Ksenia O. Malysheva¹✉, Tatyana A. Kashina², Anastasia A. Shutova², Sergey Yu. Solodnikov¹, Valery V. Litvinov³, Olga O. Mekhonoshina⁴

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²"Perm State Pharmaceutical Academy" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Perm, Russian Federation

³Academician Ye.A. Wagner Perm State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Perm, Russian Federation

⁴I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

The paper presents the results of study of the toxicity of a feed additive, which includes *Leuzea safflower* (*Rhaponticum carthamoides*) and protein obtained from vermiculture. The acute toxicity of the feed additive was studied in 31 SD white rats. It has been established that the acute oral toxicity of the feed additive is above 2500 mg/kg, which makes it possible to classify the feed additive as hazard class 3 and classify it as "moderately hazardous" according to GOST 12.1.007-76. The chronic toxicity of the feed additive was studied in 22 SD white rats. The feed additive was administered orally at a dose of 120 and 1200 mg/kg for 30 days. Long-term effects were assessed 14 days after the last introduction of the feed additive. To assess the toxic effects, the effect of the additive on the general condition of the animals, food and water intake was evaluated, blood and urine were analyzed. Complete blood count was carried out by standard methods with the determination of the following parameters: hematocrit, hemoglobin level, the number of erythrocytes, platelets, leukocytes, eosinophils, segmented neutrophils, lymphocytes and monocytes. The study of biochemical parameters of blood was carried out using standard kits for biochemical analysis. The following indicators were determined: ALT, total bilirubin, glucose, creatinine and urea. The urinalysis included the determination of the following indicators: density, leukocytes, nitrites, pH, erythrocytes, protein, glucose, ascorbic acid, ketones, urobilinogen, bilirubin. There was no statistically significant difference in blood and urine parameters between the animals of the control and experimental groups. A pathohistological examination of the stomach, liver, kidneys and heart was carried out, which showed the absence of a toxic effect of the feed additive. Local irritant action was studied in pathomorphological studies. It has been established that the feed additive does not have an irritating effect at the injection site. Thus, the feed additive can be used in feeding farm animals and birds at the recommended dose.

Key words: *Rhaponticum carthamoides*, safety parameters, local irritant effect, complete blood count, blood biochemistry, general urinalysis, histopathological examination

Acknowledgments: The research was supported by the Federal State Budgetary Institution "Fund for Assistance to the Development of Small Forms of Enterprises in the Scientific and Technical Sphere" under the agreement dated December 24, 2020. The project is directed to realizing the program of the Perm Scientific and Educational Center "Rational Subsoil Use", 2022.

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

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

For citations: Malysheva K. O., Kashina T. A., Shutova A. A., Solodnikov S. Yu., Litvinov V. V., Mekhonoshina O. O. Study of acute and chronic toxicity of feed additive based on vermiculture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):114-124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.114-124>

Received: 27.09.2022 Accepted for publication: 07.02.2023 Published online: 27.02.2023

В бройлерном птицеводстве в последние годы произошли серьезные изменения, связанные с повышением эффективности селекционной работы, которые привели к существенному росту продуктивного потенциала птицы. Но сохранность бройлеров на откорме не улучшилась, несмотря на сокращение продолжительности откорма, увеличение санитарного разрыва между партиями и улучшение ветеринарного обслуживания, что должно предполагать использование ряда медицинских препаратов. А современный рынок требует поступлений экологически чистой продукции, так как элементы функционального питания прочно входят в повседневную жизнь человека. Поэтому поиск нетрадиционных биологически активных

кормовых добавок – безопасных стимуляторов роста птицы, актуален и своевременен [1].

Актуальной является разработка новых комплексных кормовых добавок для повышения продуктивности, а также производства качественной и безопасной продукции. Токсикологические исследования и анализ эффективности применения с целью внедрения в животноводческую и птицеводческую практику, направленную на улучшение обменных процессов, сохранности, качества продукции, является перспективным и актуальным направлением.

Была разработана кормовая добавка, состоящая из левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin) и вермикультуры в соотношении 1:5 соответственно. Кор-

мовая добавка отвечает требованиям регламента Евросоюза¹.

Левзея используется для стимуляции защитных сил организма цыплят бройлеров, так как она обладает: анаболическим, адаптогенным, антиоксидантным, иммуномодуляторным, противоопухолевым, антимикробным, кардиопротективным и противопаразитарным свойствами [2, 3, 4, 5]. Основным действующим веществом растения является экидистерон² [6].

Белок, полученный из вермикультуры, по содержанию незаменимых аминокислот соответствует кормам для животных, птицы или рыбы, которые рекомендованы комиссиями ФАО и ВОЗ, особенно с точки зрения содержания лизина и комбинаций метионин + цистеин и фенилаланин + тирозин, которые являются важными компонентами животных кормов [7, 8, 9]. Белки, содержащиеся в дождевых червях, проявляют ряд биологических эффектов: цитолитический, протеолитический, гемолитический, гемагглютинирующий, противоопухолевый, митогенный, антибактериальный, антиоксидантный, иммуногенный, липополисахаридсвязывающий и др. [10, 11]. Кроме того, ткани дождевого червя содержат минеральные вещества и длинноцепочечные жирные кислоты, которые необходимы ряду животных, не способных синтезировать эти кислоты. Вермикультура также содержит комплекс витаминов, которые являются ценными компонентами кормов [12, 13].

Удачное сочетание свойств этих компонентов явилось предпосылкой для объединения их в кормовую добавку. Определение параметров безопасности даст возможность ветеринарным специалистам выбрать максимально эффективную дозу использования кормовой добавки.

Цель исследования – изучение острой и хронической токсичности новой кормовой добавки на основе вермикультуры и левзеи сафлоровидной, подтверждение того, что она безопасна и может быть использована без ограничений в рекомендуемой дозе.

Научная новизна заключается в проведении токсикологических исследований новой кормовой добавки, содержащей дождевых червей – малоизученный перспективный источник животного белка и левзею сафлоровидную – экидистеронсодержащее растение-адаптоген.

Материал и методы. Объектом исследования служила кормовая добавка, представляющая собой смесь порошка вермикультуры (калифорнийский красный червь *Eisenia andrei*) и порошка из листьев левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*).

Исследование острой и хронической токсичности проводили на белых крысах обоего пола линии SD. Животные находились на стандартном рационе питания с использованием полнорационного гранулированного сухого корма для грызунов фирмы «Золотой початок», вода в свободном доступе. При содержании животных соблюдался 12-часовой режим день/ночь, температура воздуха в помещении 20-22 °С, влажность 60-65 %. Опыты проводили в соответствии с утвержденным протоколом с соблюдением правил гуманного обращения с животными³.

Острую токсичность кормовой добавки определяли со следующих доз 300, 600, 900, 1500 и 2000 мг/кг. Каждую дозу вводили трем животным. Дозу 2500 мг/кг вводили 8 животным (4 самца и 4 самки). Контрольная группа состояла из 8 животных. Всего в эксперименте острой токсичности была задействована 31 крыса.

Добавку вводили однократно в 1%-ной крахмальной слизи перорально через зонд. Количество кормовой добавки в пересчете на действующее вещество рассчитывалось отдельно для каждого животного с учетом его массы. Контрольным животным вводилось эквивалентное количество крахмальной взвеси. Наблюдение за животными осуществляли в последующие 14 суток. В первые 6 часов состояние животных контролировали с интервалом 60 мин. При этом внимание было направлено на изменение общего состояния животных, потребление корма и воды, особенности поведения, интенсивность и характер двигательной активности, наличие судорог, нарушение координации движений, тонус скелетных мышц, реакцию на тактильные, болевые, звуковые и световые раздражители, частоту дыхательных движений, ритм сердечных сокращений, состояние кожного покрова, окраску слизистых оболочек, положение хвоста, количество и консистенцию фекальных масс, частоту мочеиспускания, окраску мочи и сроки гибели животных.

¹Регламент Комиссии (ЕС) от 22 сентября 2003 года № 1831/2003 «О добавках, применяемых в питании животных». URL: <https://fsvps.gov.ru/fsvps-docs/ru/laws/registration/1831-2003.pdf>

²Государственная фармакопея Российской Федерации. XIV издание. М., 2018. Т. 4. С. 6360-6368.

³Руководство по проведению доклинических исследований лекарственных средств. Часть первая. [Миронов А. Н. и др.]. М.: Гриф и К, 2012. 944 с.

В эксперименте по изучению хронической токсичности было задействовано 22 крысы, разделенные на 3 группы. Первая группа – контрольная, вторая получала добавку в дозе 120 мг/кг, что соответствует дозе, которая будет использоваться при кормлении птицы, третья – 1200 мг/кг превышала терапевтическую дозу в десять раз и составляла 1/2 от максимально возможной для введения дозы.

Исследование осуществлялось в течение 30 дней. Проводилась оценка влияния добавки на общее состояние животных, потребление пищи и воды, поведение. Через 2 недели после начала эксперимента проводилось взвешивание. Были проведены анализы крови и мочи. Взятие крови у животных осуществляли после 12-часового голодания из хвостовой вены в объеме 1,5 мл. Сбор мочи производился с использованием метаболических клеток TSE, Германия.

Исследование биохимических показателей крови проводилось с использованием стандартных наборов для биохимического анализа. Определялись следующие показатели: АлАТ, общий билирубин, глюкоза, креатинин, мочевины.

Общий анализ крови проводили стандартными методами с определением следующих показателей: гематокрит, уровень гемоглобина, количество эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов, эозинофилов, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов и моноцитов.

Исследование мочи включало определение следующих показателей: плотность, лейкоциты, нитриты, рН, эритроциты, белок, глюкоза, аскорбиновая кислота, кетоны, уробилиноген, билирубин. Анализ мочи проводили на анализаторе LabUreader Plus (77 Elektronika, Венгрия).

Для определения местнораздражающего действия проводили патоморфологическое исследование места введения кормовой добавки (желудок) после применения ее в течение 30 суток и спустя 14 суток после отмены.

Эвтаназию животных проводили в CO₂-камере, после которой проводили макроскопическое и патогистологическое исследование внутренних органов животных. Визуальному осмотру подвергались: сердце, легкие, почки, печень, желудок, кишечник, матка и яичники/семенники, макроскопическому исследованию – лимфатические узлы, аорта, сердце, гортань, трахея, легкие (два), пищевод, желудок, тонкий и толстый кишечника, печень, поджелудочная железа, селезенка, почки (две), мочевого пузыря.

Для гистологического исследования изымались следующие органы: желудок, печень, почки и сердце. Материал для исследования подготавливался по стандартной процедуре (фиксация в 10%-ном забуференном формалине, обезвоживание в спиртах и последующая заливка в парафин).

Использовалось следующее оборудование: система гистологической проводки (гистологический процессор Leica); аппараты заливки парафином (заливочная станция ESD 2800); микротом (ротационный микротом Thermo Scientific HM 325); машина для окрашивания препаратов (автоматический стейнер Leica 4020); аппарат для заключения образцов после окрашивания (Thermo Scientific CTM6); микроскоп Axioimager A1 («ZEISS», Германия). Вес тела животных определяли с помощью весов Scout Pro, США.

Полученные результаты были обработаны методами однофакторного дисперсионного анализа с использованием программы GraphPad Prism 6 методом «Multiple t tests». Различия считались достоверными при $p \leq 0,05$. Для всех количественных данных вычисляли среднее арифметическое (M) и стандартную ошибку среднего (m).

Результаты и их обсуждение. В ходе изучения острой токсичности кормовой добавки общее состояние животных опытной и контрольной групп оценивалось положительно, наблюдалось: обычное потребление корма и воды, нормальная координация движений, консистенция фекальных масс, частота мочеиспускания. Токсических эффектов и летальных случаев не обнаружено. Дальнейшее увеличение дозы было ограничено допустимым для внутрижелудочного введения крысам объемом и не представлялось целесообразным.

Животные во всех группах прибавляли в массу в течение всего периода наблюдения (табл. 1). Достоверных различий в динамике прироста массы тела в группах животных, получавших кормовую добавку, и контрольной – не выявлено.

После окончания эксперимента животные были подвергнуты эвтаназии для проведения вскрытия. По данным вскрытия и макроскопического исследования внутренних органов, различий между животными контрольной и опытной группы, получавшей кормовую добавку, не установлено.

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 1 – Динамика массы тела белых крыс опытной и контрольной групп /
Table 1 – Dynamics of body weight of white rats of the experimental and control group

Группа / Group	№, пол / №, gender	Масса, г / Weight, g		
		день 1 / day 1	день 7 / day 7	день 14 / day 14
Контрольная / Control	1 ♀	270	272	272
	2 ♀	285	286	288
	3 ♀	244	249	251
	4 ♀	292	290	300
	1 ♂	320	325	328
	2 ♂	330	333	339
	3 ♂	370	370	375
	4 ♂	367	370	371
Опытная, 2500 мг/кг / Experimental, 2500 mg/kg	1 ♀	245	252	256
	2 ♀	223	236	247
	3 ♀	240	236	250
	4 ♀	212	223	226
	1 ♂	292	325	340
	2 ♂	305	342	354
	3 ♂	275	301	322
	4 ♂	330	377	388

В результате изучения острой токсичности кормовой добавки выявлено, что при внутри-желудочном введении дозы 2500 мг/кг летальных эффектов достичь не удалось. Общее состояние и поведение животных носили нормальный характер. Данные некропсии продемонстрировали, что кормовая добавка не вызывает у животных патологических изменений внутренних органов, введение кормовой добавки не сопровождается раздражающим действием в месте введения. Следовательно, уровень дозы кормовой добавки, вызывающей летальный эффект, находится свыше 2500 мг/кг ($LD_{50} > 2500$ мг/кг). Результаты исследования острой токсичности позволяют отнести кормовую добавку к 3 классу опасности⁴ и классифицировать как «умеренно опасную».

В опыте по изучению хронической токсичности было изучено влияние кормовой добавки при длительном введении на общее состояние животных и массу тела крыс. Изменения общего состояния, потребления воды и пищи у групп животных, получавших кормовую добавку, в сравнении с контролем не

отмечалось. Изменения массы крыс контрольной группы не отличались от изменений массы животных ни в одной из групп, получавших кормовую добавку (табл. 2).

Было изучено влияние кормовой добавки на гематологические и биохимические показатели крови. Изучение основных биохимических показателей сыворотки крови не выявило негативных изменений при действии кормовой добавки в хроническом эксперименте на функцию печени и почек в сравнении с контролем (табл. 3, 4). Имеющиеся незначительные отличия показателей опытных групп в сравнении с контролем не достигли статистически значимых величин.

При проведении гематологических исследований установлено, что нет статистически достоверных различий в количестве эритроцитов, лейкоцитов, тромбоцитов, эозинофилов, сегментоядерных нейтрофилов, лимфоцитов, моноцитов и таких показателей, как гематокрит и гемоглобин у животных опытных и контрольной групп (табл. 5, 6).

⁴ГОСТ 12.1.007-76. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности. Система стандартов безопасности труда. М.: Стандартинформ, 2007. 6 с.

URL: https://proffidom.ru/uploads/files/2019-07/1564239922_gost-12_1_007-76.pdf

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 2 – Динамика массы тела белых крыс контрольной и опытных групп при курсовом введении кормовой добавки в различных дозах /

Table 2 – Dynamics of body weight of white rats of control and experimental groups with the course of administration of the feed additive in various doses

Группа / Group	№, пол / №, gender	Масса, г / Weight, g		
		день 1 / day 1	день 14 / day 14	день 30 / day 30
Контрольная / Control	1 ♂	458	440	450
	2 ♂	406	410	408
	1 ♀	238	240	240
	2 ♀	216	217	217
	3 ♀	243	244	247
	4 ♀	236	236	236
Опытная, 120 мг/кг / Experimental, 120 mg/kg	1 ♂	462	462	460
	2 ♂	431	432	432
	1 ♀	342	342	343
	2 ♀	292	292	2913
	3 ♀	340	343	343
	4 ♀	326	327	330
Опытная, 1200 мг/кг / Experimental, 1200 mg/kg	5 ♀	298	298	300
	6 ♀	312	314	315
	1 ♂	437	439	441
	2 ♂	406	406	409
	1 ♀	287	288	288
	2 ♀	254	256	260
	3 ♀	261	262	263
	4 ♀	287	290	293
	5 ♀	278	279	281
	6 ♀	284	285	288

Таблица 3 – Биохимические показатели крови белых крыс в начале эксперимента по изучению хронической токсичности кормовой добавки (M±m, n = 6) /

Table 3 – Biochemical parameters of blood of white rats at the beginning of the experiment aimed at the study of chronic toxicity of the feed additive (M±m, n = 6)

Группа / Group	АлАТ, ед/л / ALT, u/l	Билирубин общий, мкмоль/л / Bilirubin total, μmol/l	Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l
Контрольная / Control	73,5±15,7	1,85±0,17	6,61±0,46	34,2±4,2	6,6±0,3
Опытная, 120 мг/кг / Experimental, 120 mg/kg	65,5±19,7	2,42±0,55	6,86±0,26	37,7±3,3	6,3±0,6
Опытная, 1200 мг/кг / Experimental, 1200 mg/kg	62,5±12,8	2,27±0,40	6,80±0,41	36,7±4,1	6,1±0,9

Таблица 4 – Биохимические показатели крови белых крыс после окончания эксперимента по изучению хронической токсичности кормовой добавки (M±m, n = 6) /

Table 4 – Biochemical parameters of blood of white rats after the end of the experiment aimed at the study of chronic toxicity of the feed additive (M±m, n = 6)

Группа / Group	АлАТ, ед/л / ALT, u/l	Билирубин общий, мкмоль/л / Bilirubin total, μmol/l	Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l	Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l	Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l
Контрольная / Control	55,8±10,2	1,7±0,35	6,75±0,32	34,2±8,32	7,7±1,5
Опытная, 120 мг/кг / Experimental, 120 mg/kg	48,2±8,2	2,23±0,40	6,74±0,27	46,2±13,9	6,1±1,6
Опытная, 1200 мг/кг / Experimental, 1200 mg/kg	60,7±20,2	1,72±0,03	7,09±0,53	38,5±3,5	7,4±0,9

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 5 – Общий анализ крови белых крыс в начале эксперимента по определению хронической токсичности кормовой добавки ($M \pm m$, $n = 6$) /

Table 5 – Complete blood count of white rats at the beginning of the experiment to determine the chronic toxicity of the feed additive ($M \pm m$, $n = 6$)

Показатель / Parameter	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group	
		120 мг/кг / 120 mg/kg	1200 мг/кг / 1200 mg/kg
Гематокрит, % / Hematocrit, %	45,1±3,2	41,3±3,4	44,2±1,4
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	142±7	130±8	135±5
Эритроциты, млн/мкл / Erythrocytes, mln/ μ l	14,28±10,71	7,20±0,85	7,45±0,38
Тромбоциты, тыс/мкл / Platelets, thousand/ μ l	384±51	502±92	469±66
Лейкоциты, тыс/мкл / Leukocytes, thousand/ μ l	4,25±0,48	4,32±1,10	4,05±0,95
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	0	0	0
Сегментоядерные нейтрофилы, % / Segmented neutrophils, %	43±8	33±10	38±4
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	56±8	65±8	62±4
Моноциты, % / Monocytes, %	0,5±0,8	0,7±0,9	0,4±0,6
Эозинофилы, абс., тыс/мкл / Eosinophils, abs., thousand/ μ l	0	0	0
Сегментоядерные нейтрофилы, абс., тыс/мкл / Segmented neutrophils, abs., thousand/ μ l	1,82±0,34	1,36±0,46	1,55±0,46
Лимфоциты, абс., тыс/мкл / Lymphocytes, abs., thousand/ μ l	2,40±0,41	2,93±1,11	2,49±0,50
Моноциты, абс., тыс/мкл / Monocytes, abs., thousand/ μ l	0,02±0,04	0,03±0,04	0,01±0,02

Таблица 6 – Общий анализ крови белых крыс по окончании эксперимента по определению хронической токсичности кормовой добавки ($M \pm m$, $n = 6$) /

Table 6 – Complete blood count of white rats at the end of the experiment to determine the chronic toxicity of the feed additive ($M \pm m$, $n = 6$)

Показатель / Parameter	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group	
		120 мг/кг / 120 mg/kg	1200 мг/кг / 1200 mg/kg
Гематокрит, % / Hematocrit, %	47,8±1,6	48,2±1,4	45,8±1,5
Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l	146±5	145±3	139±6
Эритроциты, млн/мкл / Erythrocytes, mln/ μ l	8,02±0,24	7,96±0,57	7,58±0,41
Тромбоциты, тыс/мкл / Platelets, thousand/ μ l	232±26	277±86	250±60
Лейкоциты, тыс/мкл / Leukocytes, thousand/ μ l	6,33±0,64	7,05±1,56	7,35±1,50
Эозинофилы, % / Eosinophils, %	2,4±1,3	1,5±0,8	1,2±1,0
Сегментоядерные нейтрофилы, % / Segmented neutrophils, %	44,2±4,2	55,5±9,8	47,4±7,5
Лимфоциты, % / Lymphocytes, %	53,2±4,6	42,7±9,7	51,2±7,8
Моноциты, % / Monocytes, %	0,2±0,3	0,3±0,4	0,2±0,3
Эозинофилы, абс., тыс/мкл / Eosinophils, abs., thousand/ μ l	0,16±0,09	0,1±0,08	0,08±0,06
Сегментоядерные нейтрофилы, абс., тыс/мкл / Segmented neutrophils, abs., thousand/ μ l	2,81±0,43	3,89±1,02	3,59±1,28
Лимфоциты, абс., тыс/мкл / Lymphocytes, abs., thousand/ μ l	3,35±0,21	3,02±1,06	3,67±0,61
Моноциты, абс., тыс/мкл / Monocytes, abs., thousand/ μ l	0	0,02±0,03	0

Влияния кормовой добавки на параметры функционального состояния почек не обнаружено. Данные по анализу мочи представлены в таблицах 7, 8. В ходе исследования не выявлено достоверных различий между группами

животных, получавших кормовую добавку в дозах 120 и 1200 мг/кг, и животными контрольной группы. Негативных изменений при действии кормовой добавки на функцию почек в сравнении с контролем нет.

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 7 – Анализ мочи белых крыс в начале эксперимента по определению хронической токсичности кормовой добавки (M±m, n = 6) /

Table 7 – Urinalysis of white rats at the beginning of the experiment to determine the chronic toxicity of the feed additive (M±m, n = 6)

Показатель / Parameter	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group	
		120 мг/кг / 120 mg/kg	1200 мг/кг / 1200 mg/kg
Билирубин, мг/дл / Bilirubin, mg/dl	2,0±1,0	2,0±1,0	2,0±1,0
Уробилиноген, мг/дл / Urobilinogen, mg/dl	Норма		
Кетоны, мг/дл / Ketones, mg/dl	Нет		
Аскорбиновая кислота, мг/дл / Ascorbic acid, mg/dl	10±10,0	Нет	
Глюкоза, мг/дл / Glucose, mg/dl	Норма		
Белок, мг/дл / Protein, mg/dl	30±0,0	30±0,0	30±0,0
Кровь, эритроц./мкл / Blood, erythr./μl	Нет		
pH	5,30±0,30	5,30±0,52	6,3±0,0
Нитриты / Nitrites	+	+	+
Лейкоциты, лейкоц./мкл / Leukocytes, leuk./μl	Нет		
Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³	1,020±10	1,020±10	1,020±10

Таблица 8 – Анализ мочи белых крыс по окончании эксперимента по определению хронической токсичности кормовой добавки (M±m, n = 6) /

Table 8 – Urinalysis of white rats at the end of the experiment to determine the chronic toxicity of the feed additive (M±m, n = 6)

Показатель / Parameter	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group	
		120 мг/кг / 120 mg/kg	1200 мг/кг / 1200 mg/kg
Билирубин, мг/дл / Bilirubin, mg/dl	3,0±0,0	3,0±0,0	3,0±0,0
Уробилиноген, мг/дл / Urobilinogen, mg/dl	Норма		
Кетоны, мг/дл / Ketones, mg/dl	Нет		
Аскорбиновая кислота, мг/дл / Ascorbic acid, mg/dl	Нет		
Глюкоза, мг/дл / Glucose, mg/dl	Норма		
Белок, мг/дл / Protein, mg/dl	30±0,00	30±0,00	30±0,00
Кровь, эритроц./мкл / Blood, erythr./μl	Нет		
pH	5,5±0,51	5,5±0,52	6,0±0,00
Нитриты / Nitrites	+	+	+
Лейкоциты, лейкоц./мкл / Leukocytes, leuk./μl	Нет		
Плотность, г/см ³ / Density, g/cm ³	1,015±5	1,023±8	1,018±13

Спустя 14 суток после окончания эксперимента по изучению хронической токсичности кормовой добавки показатели крови и мочи животных опытных и контрольной групп не имели статистически значимых различий.

По результатам макроскопического исследования органов различий между группами не установлено. При наружном осмотре крысы правильного телосложения, удовлетворительного питания, выделений из естественных отверстий не обнаружено. Шерсть блестящая,

очагов облысения нет, зубы сохранены. Видимые слизистые оболочки бледной окраски, блестящие. Половые органы самцов развиты правильно, деформации или отека конечностей нет.

Грудная и брюшная полости выпота не содержали. Наблюдалось физиологическое положение внутренних органов грудной и брюшной полостей. Листки плевры и брюшина тонкие, блестящие, гладкие. Величина и форма сердца обычные. Мышца сердца на разрезе однородной вишнево-коричневатой окраски,

умеренно плотная. Легкие спадались при вскрытии грудной клетки. Величина и форма без видимых изменений. Поверхность легких имела однородную бледно-розовую окраску. Просвет трахеи и крупных бронхов не изменен, слизистая оболочка блестящая, гладкая, бледного цвета. Слизистая пищевода блестящая, гладкая, бледного цвета. Желудок обычной величины и формы, заполнен пищевым содержимым. Слизистые оболочки желудка животных складчатые, розовые, блестящие и не различаются у контрольной и опытных групп. Местнораздражающего действия кормовой добавки не выявлено. Просвет 12-перстной кишки не был изменен относительно нормального состояния, слизистая кишки была блестящей, гладкой, бледно-розовой. Слизистая оболочка тонкого кишечника бледно-розового цвета, блестящая, гладкая. Слизистая оболочка толстой кишки сероватого цвета, блестящая, гладкая. Форма и величина печени без особенностей. Поверхность печени гладкая, однородной темно-красной окраски, капсула тонкая, прозрачная. Ткань печени на разрезе полнокровная, умеренно плотная. Поджелудочная железа плоской формы, бледно-розового цвета, дольчатая, умеренно плотной консистенции. Селезенка обычной формы, темно-вишневого цвета, умеренно плотной консистенции. Поверхность органа гладкая, капсула тонкая. Величина

и форма почек не изменены. Поверхность почек коричневатого цвета, гладкая. Мочевой пузырь заполнен прозрачной мочой. Слизистая оболочка пузыря гладкая, блестящая, бледной окраски. Репродуктивные органы: яичники овальные, плотные, гроздевидные, серо-розового цвета, компактные; матка двураздельная, поверхность гладкая, цвет желтовато-розовый, полость без содержимого. Яички беловатого цвета, нормального размера.

При гистологическом исследовании внутренних органов крыс (сердце, печень, желудок, почки) при введении кормовой добавки в разных дозах, а также в группе контроля морфологических признаков токсического повреждения паренхиматозных органов и желудочно-кишечного тракта не обнаружено. Структура исследованных тканей при введении кормовой добавки и в контроле соответствует нормальной гистологической картине.

Результаты некропсии и гистологического исследования свидетельствуют о том, что введение кормовой добавки в дозах 120 и 1200 мг/кг в течение 30 дней крысам обоего пола не вызывает раздражения, воспаления или деструкции тканей в месте введения (желудок), не сопровождается развитием деструктивных изменений в паренхиматозных клетках и строении внутренних органов (рис.).

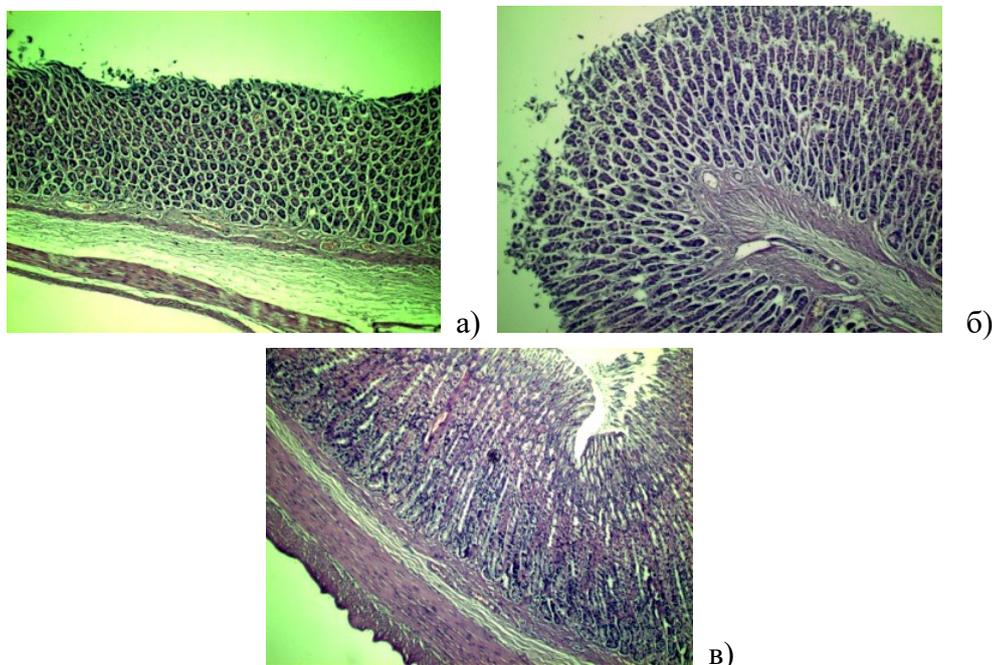


Рис. Репрезентативные фотографии гистологических срезов желудка белых крыс при введении кормовой добавки в дозах: а) контроль; б) 120 мг/кг, в) 1200 мг/кг /

Fig. Representative photographs of histological sections of the stomach of white rats when administering a feed additive in doses: a) control; b) 120 mg/kg; c) 1200 mg/kg

Данные явления не возникают также после 14 дней со дня отмены введения кормовой добавки, т. е. она не обладает местнораздражающим действием в области введения.

Заключение. Установлено, что при однократном внутрижелудочном введении кормовой добавки в дозе 2500 мг/кг летального эффекта достигнуто не было. Данные вскрытия продемонстрировали, что кормовая добавка не вызывает у белых крыс патологических изменений внутренних органов. Результаты исследования острой токсичности позволяют отнести

кормовую добавку к 3 классу опасности и классифицировать как «умеренно опасную». Кормовая добавка, вводимая в течение месяца, в дозах 120 и 1200 мг/кг не вызвала нарушений функционального состояния основных органов и систем организма белых крыс. Кормовая добавка, вводимая в желудок, не проявила местнораздражающее действие в месте введения (слизистая оболочка желудка). Таким образом, кормовую добавку можно использовать в кормлении сельскохозяйственных животных и птиц в рекомендуемой дозе.

Список литературы

1. Олива Т. В., Николаева И. В. Опыт применения нетрадиционных кормовых добавок. Успехи современного естествознания. 2007;(12-3):33-34. Режим доступа: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11956>
2. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. Biomedicines. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
3. Slama K. Vitamin D1 versus ecdysteroids: Growth effects on cell regeneration and malignant growth in insects are similar to those in humans. European Journal of Entomology. 2019;116:16-32. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2019.003>
4. Тимофеев Н. П. Потенциал экдистероид синтезирующих растений для фитобиотиков (Обзор). International Agricultural Journal. 2021;64(6):46-112. DOI: <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10384> EDN: SLDZEI
5. Samoilova Z., Smirnova G., Bezmaternykh K., Tyulenev A., Muzyka N., Voloshin V., Maysak G., Oktyabrsky O. Study of antioxidant activity of fodder grasses using microbial test systems. Journal of Applied Microbiology. 2021;132(4):3017-3027. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15431>
6. Тимофеев Н. П. Фитохимическая характеристика и активность лекарственного сырья из листовой части фармакопейного растения лезвие сафлоровидной. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):480-495. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.480-495> EDN: PAQQLC
7. Титов И. Н., Усоев В. М. Вермикультура как возобновляемый источник животного белка из органических отходов. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012;(2(18)):74-80. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17772676> EDN: OYXXKP
8. Parolini M., Ganzaroli A., Bacchetti J. Earthworm as an alternative protein source in poultry and fish farming: Current applications and future perspectives. Science of the Total Environment. 2020;734:139460. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139460>
9. Куликова Е. Г., Здорovieва Е. В., Перунова Е. В., Токарева Е. В. Влияние сухого гомогената дождевых червей на физиологобиохимический статус лабораторных животных. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2021;247(3):102-107. DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-247-3-102-107> EDN: PSMMSI
10. Sun Z., Jiang H. Nutritive Evaluation of Earthworms as Human Food. Future Foods. 2017. pp. 127-141. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.70271>
11. Hesami Y., Esmailzadeh L., Karimi-Torshizi M. A., Seidavi A., Vlčková R. Effect of diets containing earthworm powder and vermiculite on egg production, hatchability, blood parameters and immunity of Japanese breeder quails. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2021;105(2):316-325. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13453>
12. Bahadori Z., Esmailzadeh L., Karimi-Torshizi M. A., Seidavi A., Olivares J., Rojas S., Salem A. Z. M., Khusro A., Lopez S. The effect of earthworm (Eisenia foetida) meal with vermiculite on growth performance, hematology, immunity, intestinal microbiota, carcass characteristics, and meat quality of broiler chickens. Livestock Science. 2017;202:74-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.010>
13. Петров В. Ф., Сафонова Г. М., Хилько М. Г., Закиров М. Р. Энтеральный препарат, содержащий экстракт биомассы красного калифорнийского дождевого червя Eisenia foetida в виде таблеток «вермин»: пат. №2177784 Российская Федерация. №99111405/14: заяв. 01.06.1999; опубл. 10.01.2002. Бюл. № 1. 5 с. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2177784C2/ru>

References

1. Oliva T. V., Nikolaeva I. V. Experience in the use of non-traditional feed additives. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2007;(12-3):33-34. (In Russ.). URL: <https://natural-sciences.ru/ru/article/view?id=11956>
2. Dinan L., Dioh W., Veillet S., Lafont R. 20-Hydroxyecdysone, from Plant Extracts to Clinical Use: Therapeutic Potential for the Treatment of Neuromuscular, Cardio-Metabolic and Respiratory Diseases. *Biomedicines*. 2021;9(5):492. DOI: <https://doi.org/10.3390/biomedicines9050492>
3. Slama K. Vitamin D1 versus ecdysteroids: Growth effects on cell regeneration and malignant growth in insects are similar to those in humans. *European Journal of Entomology*. 2019;116:16-32. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2019.003>
4. Timofeev N. P. Potentiality of ecdysteroid synthesizing plants for feed additives (review). *International Agricultural Journal*. 2021;64(6):46-112. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2588-0209-2021-10384>
5. Samoilova Z., Smirnova G., Bezmaternykh K., Tyulenev A., Muzyka N., Voloshin V., Maysak G., Oktyabrsky O. Study of antioxidant activity of fodder grasses using microbial test systems. *Journal of Applied Microbiology*. 2021;132(4):3017-3027. DOI: <https://doi.org/10.1111/jam.15431>

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

6. Timofeev N. P. Phytochemical characteristic and activity of medicinal raw material from the leaves of pharmacopoeial plant *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iljin. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):480-495. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.480-495>

7. Titov I. N., Usoev V. M. Vermiculture as renewable source of animal protein from organic waste. *Vestnik Tomskogo gos-udarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology. 2012;(2(18)):74-80. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17772676>

8. Parolini M., Ganzaroli A., Bacchetti J. Earthworm as an alternative protein source in poultry and fish farming: Current applications and future perspectives. *Science of the Total Environment*. 2020;734:139460. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139460>

9. Kulikova E. G., Zdoroveva E. V., Perunova E. V., Tokareva E. V. Effect of dry earthworm homogenate on the physiological and biochemical status of laboratory animals. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N. E. Baumana*. 2021;247(3):102-107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-247-3-102-107>

10. Sun Z., Jiang H. Nutritive Evaluation of Earthworms as Human Food. *Future Foods*. 2017. pp. 127-141. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.70271>

11. Hesami Y., Esmailzadeh L., Karimi-Torshizi M. A., Seidavi A., Vlčková R. Effect of diets containing earthworm powder and vermicompost on egg production, hatchability, blood parameters and immunity of Japanese breeder quails. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2021;105(2):316-325. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13453>

12. Bahadori Z., Esmailzadeh L., Karimi-Torshizi M. A., Seidavi A., Olivares J., Rojas S., Salem A. Z. M., Khusro A., Lopez S. The effect of earthworm (*Eisenia foetida*) meal with vermicompost on growth performance, hematology, immunity, intestinal microbiota, carcass characteristics, and meat quality of broiler chickens. *Livestock Science*. 2017;202:74-81. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2017.05.010>

13. Petrov V. F., Safonova G. M., Khilko M. G., Zakirov M. R. Enteral preparation containing biomass extract of the red California earthworm *Eisenia foetida* in the form of "vermin" tablets: Patent RF, no. 2177784, 2002. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2177784C2/ru>

Сведения об авторах

✉ **Мальшева Ксения Олеговна**, младший научный сотрудник, лаборатория рационального природопользования и природоподобных технологий ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Комсомольский проспект, д. 29, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: kanc@pstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2776-388X>, e-mail: malksen96@gmail.com

Кашина Татьяна Андреевна, бакалавр, ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Полевая, д. 2, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: perm@pfa.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6687-1720>

Шутова Анастасия Андреевна, бакалавр, ФГБОУ ВО «Пермская государственная фармацевтическая академия» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Полевая, д. 2, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: perm@pfa.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1719-7861>

Солодников Сергей Юрьевич, кандидат мед. наук, доцент, старший научный сотрудник научно-образовательного центра прикладных химических и биологических исследований «ХимБИ», ФГАОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», Комсомольский проспект, д. 29, г. Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: kanc@pstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-7296>

Литвинов Валерий Викторович, кандидат мед. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пермский государственный медицинский университет имени академика Е. А. Вагнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Петропавловская, д. 26, г. Пермь, Российская Федерация, 614000, e-mail: rektor@psma.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0300-4424>

Мехоношина Ольга Олеговна, студент, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет имени И. М. Сеченова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, ул. Трубецкая, д. 8, стр. 2, г. Москва, Российская Федерация, 119991, e-mail: rektorat@sechenov.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7581-555X>

Information about the author

✉ **Ksenia O. Malysheva**, junior researcher, the Laboratory of Rational Use of Natural Resources and Nature-like Technologies, Perm National Research Polytechnic University, st. Komsomolsky prospect, 29, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: kanc@pstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2776-388X>, e-mail: malksen96@gmail.com

Tatyana A. Kashina, bachelor, "Perm State Pharmaceutical Academy" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Poleyaya St., 2, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: perm@pfa.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6687-1720>

Anastasia A. Shutova, bachelor, "Perm State Pharmaceutical Academy" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, Poleyaya St., 2, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: perm@pfa.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1719-7861>

Sergey Yu. Solodnikov, PhD of Medical Sciences, associate professor, senior researcher, the Scientific and Educational Center for Applied Chemical and Biological Research «KhimBI» of Perm National Research Polytechnic University, st. Komsomolsky prospect, 29, Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: kanc@pstu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2670-7296>

Valery V. Litvinov, PhD of Medical Sciences, associate professor, Academician Ye.A. Wagner Perm State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, st. Petropavlovskaya, 26, Perm, Russian Federation, 614000, e-mail: rektor@psma.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0300-4424>

Olga O. Mekhonoshina, student, I. M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, st. Trubetskaya, 8/2, Moscow, Russian Federation, 119991, e-mail: rektorat@sechenov.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7581-555X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.125-131>

УДК 543.421/.424:619

Спектрометрический анализ совместимости янтарной кислоты с йодином и метронидазолом, входящих в состав ранозаживляющего липосомального геля для животных© 2023. В. В. Мосягин¹ ✉, А. Г. Беляев²¹ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», г. Курск, Российская Федерация,²ФГБУ ВО «Юго-Западный государственный университет», г. Курск, Российская Федерация

Методом инфракрасной спектроскопии изучена и научно обоснована целесообразность включения янтарной кислоты (сукцината) в ранозаживляющие гели. Для этого исследовано взаимодействие антисептических компонентов ранозаживляющих гелей – метронидазола и йодиола с янтарной кислотой в водной среде. У водных растворов исследованных веществ выявлены незначительные флуктуации волновых чисел пика 1642,27-1643,12 см⁻¹, характеризующие колебания валентных связей С–С. Также установлены специфические пики поглощения: соединение йода с поливиниловым спиртом – 1555,22; 1232,06; 1066,00; метронидазола – 2115,81, 1555,22, 1394,59, 1187,66 и 1088,40 и сукцината – 2925,22, 2854,56, 2105,31, 1456,15, 1177,12, 1086,77. В результате проведенных исследований установлено, что янтарная кислота образует комплексные соединения с йодином и метронидазолом. Исследование ИК-спектров полученных комплексов позволяет предположить, что они образуются при взаимодействии карбоксильной группы янтарной кислоты с С–О группами поливинилового спирта в йодиоле и R₂C=NH⁺ группами в метронидазоле.

Ключевые слова: сукцинаты, инфракрасная спектроскопия, ранозаживляющие препараты, антисептические компоненты

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр» (тема № 122032900162-6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Мосягин В. В., Беляев А. Г. Спектрометрический анализ совместимости янтарной кислоты с йодином и метронидазолом, входящих в состав ранозаживляющего липосомального геля для животных. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):125-131. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.125-131>

Поступила: 24.05.2022

Принята к публикации: 08.02.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Spectrometric analysis of the compatibility of succinic acid with iodinol and metronidazole in the animal wound-healing liposomal gel© 2023. Vladimir V. Mosyagin¹ ✉, Alexey G. Belyaev²¹Federal Agricultural Kursk Research Center, Kursk, Russian Federation,²Southwest State University, Kursk, Russian Federation

The expediency of including succinic acid (succinate) in wound healing gels has been studied and scientifically substantiated by infrared spectrometry. For this purpose, the interaction of antiseptic components of wound healing gels – metronidazole and iodinol with succinic acid in an aqueous medium was studied. In aqueous solutions of the studied substances, insignificant fluctuations of the wave numbers of the peak of 1642.27-1643.12 cm⁻¹ were revealed, characterizing fluctuations in the C–C valence bonds. Specific absorption peaks were also established: iodine compound with polyvinyl alcohol – 1555.22; 1232.06; 1066.00; metronidazole – 2115.81, 1555.22, 1394.59, 1187.66 and 1088.40 and succinate – 2925.22, 2854.56, 2105.31, 1456.15, 1177.12, 1086.77. As the result of the conducted studies, it was found that succinic acid makes complex compounds with iodinol and metronidazole. The study of the IR spectra of the obtained compounds allows to suggest that they are formed by interaction of carboxyl group of succinic acid with C–O groups of polyvinyl alcohol in iodinol and R₂C=NH⁺ groups in metronidazole

Keywords: succinate, infrared spectrometry, wound healing agents, antiseptic components

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 Kursk Research Center (theme No. 122032900162-6).

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: Mosyagin V. V., Belyaev A. G. Spectrometric analysis of the compatibility of succinic acid with iodinol and metronidazole in the animal wound-healing liposomal gel. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East.* 2023;24(1):125-131. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.125-131>

Received: 24.05.2022

Accepted for publication: 08.02.2023

Published online: 27.02.2023

Создание новых высокоэффективных лекарственных препаратов для животноводства и ветеринарии является приоритетным направлением [1]. Одним из них могут быть ранозаживляющие гели, включающие метронидазол или йодиол в качестве антисептических соединений.

Раны приводят к снижению продуктивности животных и доставляют существенный дискомфорт как животным, так и их владельцам. Кроме этого, в настоящее время в ветеринарной медицине существует много хирургических и аппаратных методик, предполагающих повреждения (нарушения) кожи. В связи с этим реабилитационный (послеоперационный) период необходимо сократить до минимального срока, так как медленное ранозаживление приводит к различным осложнениям, например, формированию грубой рубцовой ткани, спаечной болезни, инфекционным осложнениям ран и другие, что, в конечном итоге, приводит к снижению продуктивности животных.

Высокоэффективные ранозаживляющие препараты могут быть получены на основе комплексных соединений метронидазола или йода с янтарной кислотой (сукцинатом). Это позволит повысить биологическую доступность препаратов, увеличить их антисептическую активность, снизить токсичность.

В настоящее время считается, что антисептики обладают сравнимой с антибиотиками эффективностью [2], однако наличие антибиотиков в продуктах животного происхождения является нежелательным и недопустимым. Поэтому в качестве противомикробных веществ в ветеринарии нашли широкое применение метронидазол и йодиол.

Метронидазол [3] – препарат группы нитроимидазолов, синтетический препарат природного вещества азомидина [4]. Обладает противопаразитарной и противомикробной активностью. Широкое распространение в медицинской практике получил с 1970-х годов для лечения инфекций, вызванных анаэробными грамотрицательными (бактероиды) и грамположительными (клостридии) бактериями. Препарат интенсивно применяется при лечении

гнойно-некротических повреждений слизистых оболочек, кожи и входит как антимикробный компонент в различные фармацевтические композиции [3, 5].

Различные йодофоры (например, йодоповидон, йодиол и др.) широко известные антисептические средства. Это антибактериальные, противопротозойные, противовирусные, антигельминтные и фунгицидные препараты широкого спектра действия на основе йода. В медицине применяются при хроническом тонзиллите, гнойном отите, гнойных хирургических заболеваниях, трофических и варикозных язвах, термических и химических ожогах [6, 7].

С целью усиления лечебного действия гелей в них целесообразно включать янтарную кислоту, обладающую широким спектром биологического действия. Так, исследования [8, 9] показали, что при различных инфекционных болезнях, в частности при сепсисе, происходит нарушение митохондриального комплекса I (NADH:убихинон-редуктаза) [10]. Вследствие этого падает концентрация ресинтезированного АТФ, играющего ведущую роль в развитии патологических состояний [10]. В таком случае функционирование дыхательной цепи возможно через комплекс II (сукцинат:убихинон-оксидоредуктаза) [11, 12], поддерживаемый сукцинатом, что доказано в экспериментах [9, 10].

Опытные данные, полученные за последнее время, указывают на то, что янтарная кислота, помимо клеточного дыхания, является и метаболическим сигналом, включающим различные механизмы адаптации [12].

В подтверждение того, что сукцинат является сигнальным веществом, установлено наличием сукцинатных рецепторов, обозначенных GPR91 (G-protein-coupled receptor 91) [13, 14]. Эти рецепторы индуцируют экспрессию VEGF (эндотелиального фактора роста), стимулирующего регенерацию тканей организма.

Клинические медицинские исследования согласуются с экспериментальными данными¹ [15, 16].

¹Тарасевич Б. Н. Основы ИК спектроскопии с преобразованием Фурье. Подготовка проб в ИК спектроскопии. М.: МГУ, 2012. 22 с.

Цель исследований – изучение взаимодействия янтарной кислоты с йодином и метронидазолом, входящих в состав ранозаживляющего липосомального геля для животных.

Научная новизна исследований заключается в экспериментальном обосновании, по результатам ИК-спектрометрии, возможности включения янтарной кислоты в ранозаживляющие композиции, содержащие йодinol и метронидазол.

Материал и методы. Водные растворы янтарной кислоты, метронидазола и йодиола и их комплексы с сукцинатом исследовали на ИК-Фурье спектрометре thermo fisher scientific nicolet is10².^{3, 4} [17, 18, 19], в инфракрасной (ИК) области 1500-3000 см⁻¹. Концентрация растворов при исследовании составляла 10⁻²-10⁻³ моль/л.

Приставка с германиевым кристаллом. Обработку спектральных данных осуществляли программным пакетом OMNIC.

Результаты и их обсуждение. В ИК-спектрах исходных субстратов (рис. 1, а, б, в) выявлены специфические пики поглощения ИК-излучения, отвечающие за наличие в молекулах определенных связей и группировок (табл. 1).

У водных растворов исследованных веществ выявлены незначительные флуктуации волновых чисел пика 1642,27-1643,12 см⁻¹ (табл. 1). Наличие пиков поглощения у веществ в этой области относится к колебаниям валентных связей С-С в гетероароматических соединениях.

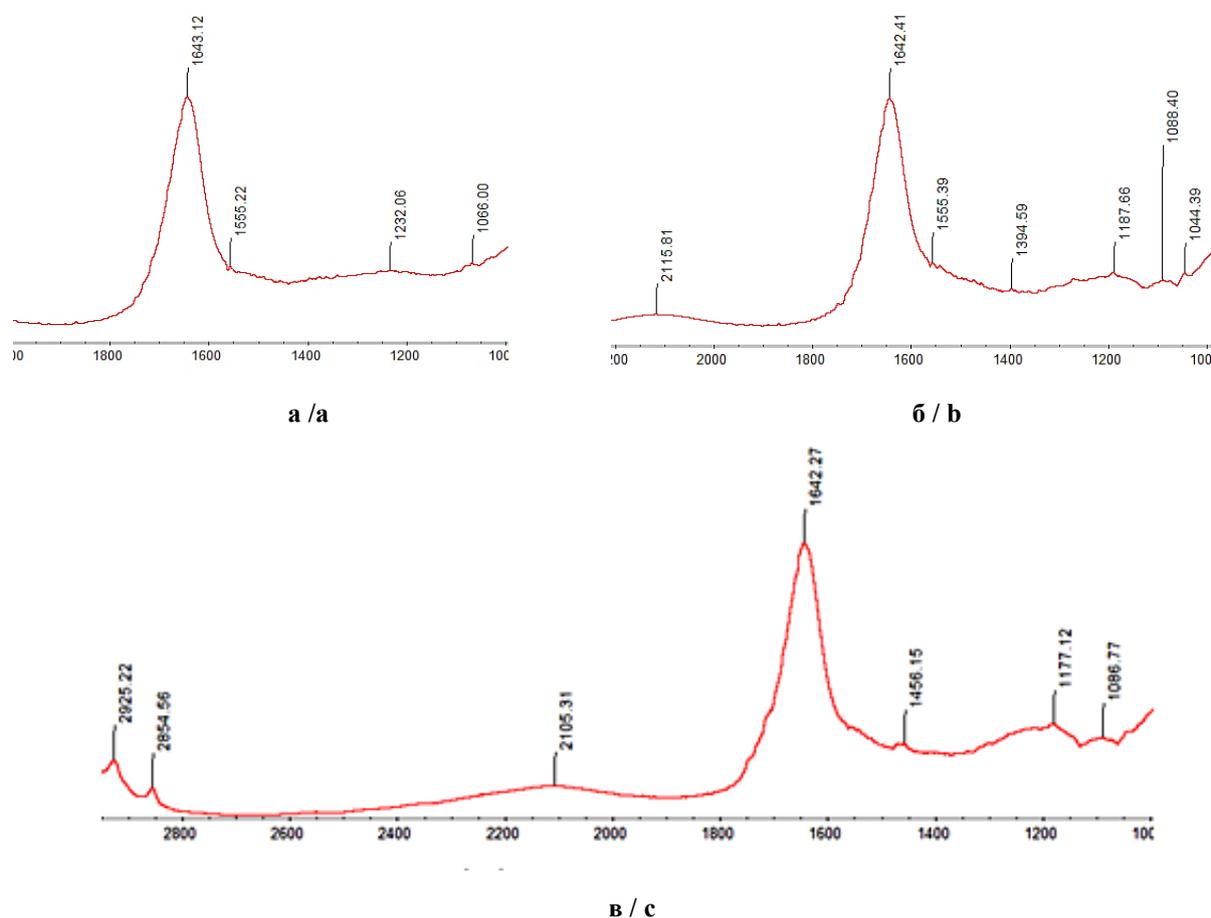


Рис. 1. Фрагменты ИК-спектров растворов: а – йодиол; б – метронидазол; в – сукцинат / Fig. 1. Fragments of IR-spectra of solutions: a – iodinol; b – metronidazole; c – succinate

²Тарасевич Б. Н. Указ. соч.

³Редькин Н. А. ИК-Фурье спектрометрия и масс-спектрометрия в идентификации органических соединений: учебное пособие. Самара: изд-во Самарского университета, 2019. 92 с.

⁴Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: справочные материалы. МГУ, 2012. 54 с.

Таблица 1 – Пики поглощения ИК-излучения и характерные колебательные частоты связей в йодиоле, метронидазоле и янтарной кислоте /

Table 1 – IR-radiation absorption peaks and characteristic vibrational bond frequencies in iodinol, metronidazole and succinic acid

Диапазон пика, cm^{-1} / Peak range, cm^{-1}	Диапазон частот (cm^{-1}), интенсивность полос поглощения / Frequency range (cm^{-1}), intensity of absorption bands	Группа атомов и тип колебаний / Group of atoms and type of vibrations
Йодиол / Iodinol		
1643,12	1660-1480	Валентные С–С в гетероароматических соединениях / Valence C–C in heteroaromatic compounds
1555,22	1625-1450	Валентные С–С в ароматических соединениях / Valence C–C in aromatic compounds
1232,06	1250-1140	Диапазон деформационных колебаний Csp^3-H / The range of deformation vibrations Csp^3-H
1066,00	1260-1000	Валентные С–О в спиртах и фенолах / Valence C–O in alcohols and phenols
Метронидазол / Metronidazole		
2115,81	2200-1800	$R_2C=NH^+$ – в солях аминокислот / $R_2C=NH^+$ – in amino acid salts
1642,41	1660-1480	Валентные С–С в гетероароматических соединениях / Valence C–C in heteroaromatic compounds
1555,22	1625-1450	Валентные С–С в ароматических соединениях / Valence C–C in aromatic compounds
1394,59	1395-1365	$-CH_3$ – деформационные симметричные / $-CH_3$ – deformation symmetrical
1187,66	1260-1100	Валентные С–О в спиртах и фенолах / Valence C–O in alcohols and phenols
1088,40	1125-1000	
1044,39	1075-1000	
Янтарная кислота / Succinic acid		
2925,22	2940-2915	$-CH_2-$ – валентные асимметричные в алканах / $-CH_2-$ – valence asymmetries. in alkanes
2854,56	2870-2845	
2105,31	Нет сведений	Нет сведений
1642,27	1660-1480	Валентные С–С в гетероароматических соединениях / Valence C–C in heteroaromatic compounds
1456,15	1475-1450	Деформационные связи СН в $-CH_2-$ / Deformation bonds in CH and $-CH_2-$
1177,12	1110-1070	Плоскостные деформационные колебания С-Н / Planar deformation vibrations C-H
1086,77	1110-1070	

Кроме этого, у растворов изучаемых соединений установлены специфические пики поглощения: 1) соединение йода с поливиниловым спиртом – 1555,22; 1232,06; 1066,00, характеризующие наличие валентных связей С–С, деформационных колебаний связи Csp^3-H и валентные связи С–О; 2) метронидазола – 2115,81, 1555,22, 1394,59, 1187,66 и 1088,40, говорящие о наличии $R_2C=NH^+$, валентные С–С, деформационные симметричные колебания связи $-CH_3$; 3) сукцината – 2925,22, 2854,56, 2105,31, 1456,15, 1177,12, 1086,77, показывающие наличие $-CH_2-$ – валентные асиммет-

ричные колебания в алканах, валентные С–С в гетероароматических соединениях, деформационные связи СН в $-CH_2-$, плоскостные деформационные колебания С-Н.

Таким образом, установлено, что водные растворы соединения йода с поливиниловым спиртом, метронидазола и сукцината имеют как общие пики, так и индивидуальные для каждого вещества.

На рисунке 2 представлены ИК-спектры растворов йода с поливиниловым спиртом + сукцинат (а), метронидазола + сукцинат (б) и раствор чистого сукцината (в).

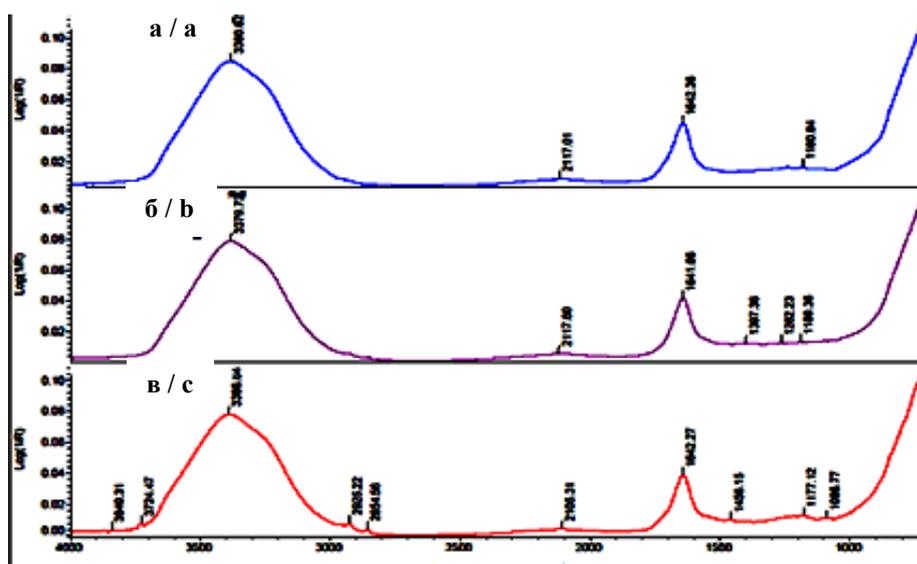


Рис. 2. ИК-спектры водных растворов: а – йодиол + сукцинат; б – метронидазол + сукцинат; в – сукцинат /

Fig. 2. IR-spectra of aqueous solutions: a – iodinol + succinate; b – metronidazole + succinate; c – succinate

Установлены специфические пики поглощения: в смеси растворов сукцината и йодиола – 2117,01, 1642,36, 1180,84, характеризующие валентные С–С в гетероароматических соединениях и плоскостные деформационные колебания С–Н (табл. 2). В то же время в смеси

не выявлены пики поглощения ИК-излучения, характерные для валентных С–О в спиртах и фенолах. Это говорит об участии этих группировок атомов в образовании комплексных соединений йодиола с сукцинатом.

Таблица 2 – Пики поглощения ИК-излучения и характерные колебательные частоты связей /
Table 2 – IR-radiation absorption peaks and characteristic oscillatory coupling frequencies

Диапазон пика, см ⁻¹ / Peak range, cm ⁻¹	Диапазон частот (см ⁻¹), интенсивность полос поглощения / Frequency range (cm ⁻¹), intensity of absorption bands	Группа атомов и тип колебаний / Group of atoms and type of vibrations
Сукцинат и йодиол / Succinate and iodinol		
2117,01	Нет сведений	Нет сведений
1642,36	1660-1480	Валентные С–С в гетероароматических соединениях / Valence C–C in heteroaromatic compounds
1180,84	1225-950	Плоскостные деформационные колебания С–Н / Planar deformation vibrations C–H
Сукцинат и метронидазол / Succinate and metronidazole		
2115,81	Нет сведений	Нет сведений
1555,22	1625-1450	Валентные С–С в ароматических соединениях / Valence C–C in aromatic compounds
1394,59	1395-1365	–CH ₃ – деформационные симметричные / –CH ₃ – deformation symmetrical
1187,66	1225-950	Плоскостные деформационные колебания С–Н / Planar deformation vibrations C–H
1088,40	1225-950	

Пики поглощения смеси растворов сукцината и метронидазола – 2115,81, 1555,22, 1394,59, 1187,66 и 1088,40, говорят о наличии

валентных связей С–С в ароматических соединениях, –CH₃ деформационные симметричные, плоскостные деформационные колебания С–Н.

В то же время в смеси не обнаружены пики поглощения $R_2C=NH^+$, подтверждающие участие данной группировки в образовании комплексного соединения.

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что янтарная кислота образует комплексные соединения с йодиолом и метронидазолом. Исследование ИК-спектров полученных комплексов позволяет предпо-

ложить, что они образуются при взаимодействии карбоксильной группы янтарной кислоты с C–O группами поливинилового спирта в йодиоле и $R_2C=NH^+$ группами в метронидазоле.

Эти комплексные соединения могут быть использованы для получения новых лекарственных препаратов для животных, что требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Ческидова Л. В., Брюхова И. В., Григорьева Н. А. Перспективные направления создания лекарственных средств нового поколения для животных с применением биотехнологий (обзор). Ветеринарный фармакологический вестник. 2019;(2(7)):29-38. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2019.2.29> EDN: EPQCVF
2. Привольнев В. В., Зубарева Н. А., Каракулина Е. В. Местное лечение раневой инфекции: антисептики или антибиотики? Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия. 2017;19(2):131-138. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30064211> EDN: ZHXGWB
3. Краснюк (мл.) И. И., Нарышкин С. Р., Беляцкая А. В., Тарасов В. В., Степанова О. И., Краснюк И. И., Грих В. В., Овсянникова Л. В., Мезяркин Е. В., Воробьев А. Н. Метронидазол – 60 лет применения. Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Химия. Биология. Фармация. 2020(1):82-90. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42896071> EDN: YTCYLK
4. Нагорнова О. А., Нуруллина Л. Ф., Ахтямова З. Г., Гильманов Г. З. Биологическая активность производных имидазола. Scientific Discoveries: Proceedings of materials IV International scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow, January 30-31, 2019. Czech Republic, Karlovy Vary: Skleněný Mústek – Russia, Kirov: MCNIP, 2019. С. 21-24. Режим доступа: https://kpfu.ru/staff_files/F258717817/ MKO_2019_01_N.pdf
5. Тиганов С. И., Григорьян А. Ю., Блинов Ю. Ю., Панкрушева Т. А., Мишина Е. С., Жилиева Л. В. Применение мирамистина и метронидазола в лечении экспериментальных гнойных ран. Сибирское медицинское обозрение. 2018;(1(109)):43-48. DOI: <https://doi.org/10.20333/2500136-2018-1-43-48> EDN: YXPIHO
6. Морозов А. М., Беляк М. А. О возможности применения повидон-йода в хирургической практике. Амбулаторная хирургия. 2021;18(2):68-76. DOI: <https://doi.org/10.21518/1995-1477-2021-18-2-68-76> EDN: DWQHJQ
7. Абдуллаев О. А., Сергиенко А. В., Ивашев М. Н. Клиническая эффективность йодиола. Международный журнал экспериментального образования. 2015;(3-2):47-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22991846> EDN: TJDKBR
8. Brealey D., Brand M., Hargreaves I., Heales S., Land J., Smolenski R., A Davies N., Cooper Ch. E., Singer M. Association between mitochondrial dysfunction and severity and outcome of septic shock. Lancet. 2002;360(9328): 219-223. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)09459-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)09459-X)
9. Protti A., Carrer J., Frost M., Taylor V., Stidwill R., Rudiger A., Singer M. Succinate recovers mitochondrial oxygen consumption in septic rat skeletal muscle. Critical Care Medicine. 2007;35(9):2150-2155. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000281448.00095.4d>
10. Singer M. The role of mitochondrial dysfunction in sepsis-induced multi-organ failure. Virulence 2014;5(1):66-72. DOI: <https://doi.org/10.4161/viru.26907>
11. Гривенникова В. Г., Виноградов А. Д. Генерация активных форм кислорода митохондриями. Успехи биологической химии. 2013;53:245-296.
12. Румянцева С. А., Силина Е. В., Чичановская Л. В., Назаров М. В., Цукурова Л. А., Коваленко А. Л., Кабаева Е. Н., Ступин В. А. Эффективность антиоксидантной энергетической коррекции при инфаркте головного мозга (результаты многоцентрового рандомизированного исследования). Журнал неврологии и психиатрии им. С. С. Корсакова. 2014;114(10):49-55. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22869419> EDN: TGLTAJ
13. Wittenberger T., Schaller M. C., Hellebrand S. An expressed sequence tag (EST) data mining strategy succeeding in the discovery of new G-protein coupled receptors. Journal of Molecular Biology. 2001;307(3):799-813. DOI: <https://doi.org/10.1006/jmbi.2001.4520>
14. Hu J., Li T., Du X., Wu Q., Le Y.-Zh. G protein-coupled receptor 91 signaling in diabetic retinopathy and hypoxic retinal diseases. Vision research. 2017;139:59-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.05.001>
15. Шаповалов К. Г., Цыденпилов Г. А., Лукьянов С. А., Трусова Е. С., Коннов В. А. Перспективы применения сукцинатов при тяжелом течении новой коронавирусной инфекции. Экспериментальная и клиническая фармакология. 2020;83(10):40-43. DOI: <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2020-83-10-40-43> EDN: RQIGSB
16. Шевченко В. Д. Влияние гипоксии и сукцината на изменение биохимических показателей мышечной ткани. Актуальные проблемы биомедицины – 2021: мат-лы XXVII Всеросс. конф. молодых учёных с международ. участием. Санкт-Петербург: Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. академика И. П. Павлова, 2021. С. 216-217. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45802686> EDN: UMSPRK

References

1. Cheskidova L. V., Bryukhova I. V., Grigoreva N. A. Advanced research directions of creation of new generation medicines for animals with application of biotechnologies (review). *Veterinarnyy farmako-logicheskiy vestnik* = Bulletin of veterinary pharmacology. 2019;(2(7)):29-38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2019.2.29>

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ / ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

2. Privolnev V. V., Zubareva N. A., Karakulina E. V. Topical therapy of wound infections: antiseptics or antibiotics? *Klinicheskaya mikrobiologiya i antimikrobnaya khimioterapiya* = Clinical Microbiology and Antimicrobial Chemotherapy. 2017;19(2):131-138. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30064211>
3. Krasnyuk (junior) I. I., Naryshkin S. R., Belyackaya A. V., Tarasov V. V., Stepanova O. I., Krasnyuk I. I., Grih V. V., Ovsyannikova L. V., Mezyarkin E. V., Vorob'yov A. N. Metronidazole - 60 years of use. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Khimiya. Biologiya. Farmatsiya* = Proceedings of Voronezh State University. Series: Chemistry. Biology. Pharmacy. 2020(1):82-90. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42896071>
4. Nagornova O. A., Nurullina L. F., Akhtyamova Z. G., Gilmanov G. Z. Biological activity of imidazole derivatives. *Scientific Discoveries: Proceedings of materials IV International scientific conference. Czech Republic, Karlovy Vary – Russia, Moscow, January 30-31, 2019. Czech Republic, Karlovy Vary: Skleněný Mústek – Russia, Kirov: MCNIP, 2019. pp. 21-24.* URL: https://kpfu.ru/staff_files/F258717817/MKO_2019_01_N.pdf
5. Tiganov S. I., Grigoryan A. Yu., Blinkov Yu. Yu., Pankrusheva T. A., Mishina E. S., Zhilyaeva L. V. The use of miramistin and metronidazole in the treatment of experimental purulent wounds. *Sibirskoe meditsinskoe obozrenie* = Siberian Medical Review. 2018;(1(109)):43-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20333/2500136-2018-1-43-48>
6. Morozov A. M., Belyak M. A. About the possibility of using povidone iodine in surgical practice. *Ambulatornaya khirurgiya* = Ambulatory Surgery (Russia). 2021;18(2):68-76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21518/1995-1477-2021-18-2-68-76>
7. Abdullaev O. A., Sergienko A. V., Ivashev M. N. Clinical efficacy of iodinol. *Mezhdunarodnyy zhurnal eksperimental'nogo obrazovaniya* = International journal of experimental education. 2015;(3-2):47-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22991846>
8. Brealey D., Brand M., Hargreaves I., Heales S., Land J., Smolenski R., A Davies N., Cooper Ch. E., Singer M. Association between mitochondrial dysfunction and severity and outcome of septic shock. *Lancet*. 2002;360(9328): 219-223. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(02\)09459-X](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(02)09459-X)
9. Protti A., Carrer J., Frost M., Taylor V., Stidwill R., Rudiger A., Singer M. Succinate recovers mitochondrial oxygen consumption in septic rat skeletal muscle. *Critical Care Medicine*. 2007;35(9):2150-2155. DOI: <https://doi.org/10.1097/01.ccm.0000281448.00095.4d>
10. Singer M. The role of mitochondrial dysfunction in sepsis-induced multi-organ failure. *Virulence* 2014;5(1):66-72. DOI: <https://doi.org/10.4161/viru.26907>
11. Grivennikova V. G., Vinogradov A. D. Generation of reactive oxygen species by mitochondria. *Uspekhi biologicheskoy khimii*. 2013;53:245-296. (In Russ.).
12. Rumyantseva S. A., Silina E. V., Chichanovskaya L. V., Nazarov M. V., Tsukurova L. A., Kovalenko A. L., Kabaeva E. N., Stupin V. A. Efficacy of antioxidant energocorrection in brain infarction: results of a multicenter randomized trial. *Zhurnal nevrologii i psikhiiatrii im. S. S. Korsakova* = S. S. Korsakov Journal of Neurology and Psychiatry. 2014;114(10):49-55. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22869419>
13. Wittenberger T., Schaller H. C., Hellebrand S. An expressed sequence tag (EST) data mining strategy succeeding in the discovery of new G-protein coupled receptors. *Journal of Molecular Biology*. 2001;307(3):799-813. DOI: <https://doi.org/10.1006/jmbi.2001.4520>
14. Hu J., Li T., Du X., Wu Q., Le Y.-Zh. G protein-coupled receptor 91 signaling in diabetic retinopathy and hypoxic retinal diseases. *Vision research*. 2017;139:59-64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2017.05.001>
15. Shapovalov K. G., Tsydenpilov G. A., Luk'yanov S. A., Trusova E. S., Konnov V. A. Prospects for the use of succinates in treating severe course of new coronavirus infection. *Ekspiermental'naya i klinicheskaya farmakologiya* = Experimental and Clinical Gastroenterology. 2020;83(10):40-43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30906/0869-2092-2020-83-10-40-43>
16. Shevchenko V. D. The effect of hypoxia and succinate on changes in biochemical parameters of muscle tissue. *Actual problems of biomedicine – 2021: Proceedings of the XXVII All-Russian Conference of Young Scientists with international participation. Saint-Petersburg: Pervyy Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyy meditsinskiy universitet im. akademika I. P. Pavlova, 2021. pp. 216-217.* URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45802686>

Сведения об авторах

✉ **Мосягин Владимир Владимирович**, доктор биол. наук, старший научный сотрудник ФГБНУ «Курский федеральный аграрный научный центр», 70 б, ул. К. Маркса, г. Курск, Российская Федерация, 305021, e-mail: kurskfarc@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6970-395X>, e-mail: ugnoe_nebo@list.ru

Беляев Алексей Геннадьевич, кандидат биол. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Юго-Западный государственный университет», 94, ул. 50 лет Октября, г. Курск, Российская Федерация, 305040, e-mail: swsu.ee@gmail.com,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3445-6850>

Information about the authors

✉ **Vladimir V. Mosyagin**, DSc in Biology, senior researcher, Federal Agricultural Kursk Research Center, K. Marx Street. 70 b, Kursk, Russian Federation, 305021, e-mail: kurskfarc@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6970-395X>, e-mail: ugnoe_nebo@list.ru

Alexey G. Belyaev, PhD in Biology, associate professor, Southwest State University, 94, 50 let Oktyabrya Street, Kursk, Russian Federation, 305040, e-mail: swsu.ee@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3445-6850>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140>

УДК 631.171: 629.735: 621.398



Обоснование параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга животных на пастбище

© 2023. В. А. Шигимага¹, Р. А. Файзуллин², А. С. Осокина²✉

¹Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, Украина

²ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация

В работе приведено обоснование основных параметров беспилотной системы автоматизированного мониторинга стада на пастбище за счет автоматизации измерения текущих физиологических показателей животных для повышения эффективности и оперативности надзора за ними в условиях свободного выпаса. Исследования основывались на теории радиосвязи о распространении радиоволн, а также применен графоаналитический метод для расчета параметров элементов в составе беспилотной системы автоматизированного мониторинга животных на пастбище. Для измерения времени полета беспилотного летательного аппарата (БПЛА) над реальным пастбищем был применен квадрокоптер типа DJI Phantom 4 Advanced. В качестве полезной нагрузки был взят вес 350 г. В качестве пастбища использовали опытное поле в ОХ «Кутузовка» Харьковского района Харьковской области площадью 200 га. Исследования выполнены летом 2021 г. На основе известных исследований процессов, способов и технических средств мониторинга физиологического состояния животных на пастбище установлено, что для дистанционного мониторинга целесообразно применять новейшие технические средства, включая аппараты воздушного базирования. Среди них БПЛА вертолетного типа, а также элементы системы радиотелеметрии (РТМ), индивидуальные бирки и датчики физиологических параметров животного. При этом беспилотная система автоматизированного мониторинга в сочетании с элементами РТМ сможет обеспечить передачу физиологических данных с любых датчиков, находящихся на теле животного или внутри него. Данные передаются на основной пункт приема информации с целью обработки на компьютере и выдачи рекомендаций специалистам (ветеринарам, зоотехникам и т.п.). Рассчитаны мощность аппаратуры ретрансляции на борту БПЛА – не менее 60 мВт и дальность связи с ретранспортом животного – не более 0,8 км. Экспериментально установлены основные параметры полета БПЛА над пастбищем площадью 200 га – высота 20 м, скорость 8,7 км/ч, время 27,5 мин, полезная нагрузка 350 г.

Ключевые слова: радиотелеметрия, беспилотный летательный аппарат, технические характеристики, физиологическое состояние, свободный выпас

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук» (тема № 122040800100-4). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шигимага В. А., Файзуллин Р. А., Осокина А. С. Обоснование параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга животных на пастбище. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):132-140. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140>

Поступила: 07.10.2022

Принята к публикации: 20.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The substantiation of the parameters of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture

© 2023. Viktor A. Shigimaga¹, Rafail A. Fayzullin², Anastsiya S. Osokina²✉

¹Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture, Kharkiv, Ukraine

²Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation

The research provides the substantiation of the main parameters of an unmanned automated herd monitoring system on a pasture by automating the measurement of current physiological indicators of animals to improve the efficiency and rate of supervision over them in free grazing conditions. The studies were based on the theory of radio communication about the propagation of radio waves, and also there was used a graphoanalytic method for calculating the parameters of component

elements as parts of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture. The DJI Phantom 4 Advanced quadcopter was used to measure the flight time of an unmanned aerial vehicle (UAV) over the real pasture. As a payload, the weight of 350 g was taken. As a pasture, the experimental field at the farm "Kutuzovka", Kharkiv district, Kharkiv region with an area of 200 ha was used. The research was carried out in summer 2021. According to the results of well-known studies of the processes, methods and technical means of monitoring the physiological state of animals on pasture, it has been established that the advanced technological means including air-based devices should be used for remote monitoring. Among them are helicopter-type unmanned aerial vehicles, as well as elements of the radio telemetry system (RTM), individual tags and sensors of the physiological parameters of the animal. At the same time, an unmanned automated monitoring system in combination with RTM elements is able to provide the transmission of physiological data from any sensors located on the animal's body or inside it. The data are transmitted to the main point of receiving information for processing it on a PC and giving recommendations to specialists (veterinarians, zootechnicians, etc.). The power of the relay equipment on board the UAV is calculated to be at least 60 mW and the communication range with the animal transponder not more than 800 m. The main parameters of the UAV flight over a pasture of 200 hectares have been experimentally established – the height is 20 m, the speed is 8.7 km/h, the time is 27.5 min, the payload is 350 g.

Keywords: radio telemetry, unmanned aerial vehicle, technical characteristics, physiological state, free grazing

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 Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122040800100-4).

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

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

For citation: Shigimaga V. A., Fayzullin R. A., Osokina A. S. The substantiation of the parameters of an unmanned system for automated monitoring of animals on pasture. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):132-140. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.132-140>

Received: 07.10.2022

Accepted for publication: 20.01.2023

Published online: 27.02.2023

Современные мировые системы обслуживания животных основаны на применении прецизионных технологий. Эти системы имеют подсистемы идентификации, индивидуального учета надоев и качества молока, определения двигательной активности животных, объединенные в комплексную систему управления стадом, а также имеется еще ряд других автоматизированных технических систем [1, 2]. Эти системы необходимо адаптировать к животноводческим хозяйствам всех видов собственности, в том числе и к объектам свободного содержания животных. В частности, на голландских молочных фермах для управления коровами успешно используются сенсорные системы [3]. Внедряются также новейшие роботизированные комплексы для пастбищ, включающие автоматическую аппаратуру, отслеживающую состояние животных в реальном времени и корректирующую рационы питания [4, 5]. Вместе с этим разрабатываются и робототехнические средства контроля качества некоторых продуктов животноводства прямо в процессе их получения [6, 7]. Последнее направление становится все более востребованным, поскольку уже существуют, например, мобильные роботизированные доильные установки, доставляемые на пастбище [4].

С принятием концепции массового перехода на беспривязное содержание животных и внедрение эффективных методов, технических средств мониторинга и управления техноло-

гическими процессами индивидуальный учет и обслуживание животных приобретают особую актуальность [8, 9].

Для приема и передачи полученной физиологической информации от животных на пастбище существуют различные технические средства, среди которых новейшими и перспективными являются беспилотные летательные аппараты (БПЛА) или дроны [10]. Обычно, за сельскохозяйственными животными на крупных фермах следят редко, потому что в условиях использования традиционных средств это очень сложно [11]. Это означает, что работники крупной фермы часто не имеют представления, в каком физиологическом состоянии находятся животные. Поэтому на таких фермах целесообразно использовать новейшие технические средства, в частности, роботизированных пастухов. Роботы способны определять больных или травмированных животных с помощью термодатчиков и видеосенсоров [1, 3]. Существуют и автоматизированные системы радиотехнического мониторинга поведения животных [8, 9], а также с помощью дронов [10].

В настоящее время БПЛА активно задействуют в экологических проектах и животноводстве [12, 13]. Например, состояние здоровья животного в стаде на выпасе уже возможно выявлять с воздуха [14]. БПЛА позволяет оценить степень износа пастбища и качество травы, заблаговременно выявить некоторые ядовитые растения. Их можно оснастить оборудованием

для взятия образцов почвы, травы или воды. БПЛА незаменимы при мониторинге дальних пастбищ [15, 16]. БПЛА-курьеры доставляют фермеру заказанные им медикаменты для лечения животных, а материалы анализов больных животных – в местную ветеринарную клинику. С помощью БПЛА можно дистанционно ввести животному на пастбище вакцину или антибиотик [17, 18].

Но остались нерешенными вопросы, связанные с определением конкретных параметров беспилотной системы для автоматизированного мониторинга физиологического состояния животных на пастбище. Причиной этого являются, с одной стороны, объективные трудности работы с биообъектами (животными), которым присуща изменчивость в поведении, а с другой – реальные полевые условия радиосвязи БПЛА с датчиком на животном. Поэтому все эти вопросы актуальны, учитывая новизну применения БПЛА в пастбищном животноводстве.

Необходимо добавить, что при большой скорости полета БПЛА наблюдается эффект Доплера. Этот эффект заключается в смещении частоты радиосигнала передатчика на борту, и вследствие узкополосности приемника на земле ведет к частичной или полной потере информации. Поэтому целесообразно использовать аппараты с низкой скоростью перемещения в пространстве, такими свойствами обладает именно БПЛА вертолетного типа.

Цель исследований – обоснование и разработка основных параметров беспилотной системы автоматизированного мониторинга стада на пастбище, что дает возможность повысить эффективность и оперативность надзора за животными в условиях свободного выпаса.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

– обосновать и рассчитать основные параметры полета БПЛА и аппаратуры ретрансляции на борту в составе системы беспилотного автоматизированного мониторинга физиологических показателей стада;

– экспериментально установить временные показатели полета БПЛА с полезной нагрузкой.

Научная новизна – состоит в возможности автоматизированного дистанционного монито-

ринга физиологического состояния животных в природных условиях на пастбище.

Материал и методы. В процессе исследования использованы общие положения теории радиосвязи о распространении радиоволн^{1, 2}, а также предложен графоаналитический метод для обоснования технических параметров комплекствующих элементов в составе беспилотной системы автоматизированного мониторинга животных на пастбище.

Метод реализован в 3 этапа:

1. Выполнены расчеты основных технических параметров БПЛА по установлению уверенной радиосвязи аппаратуры ретрансляции на его борту с транспондером радиотелеметрии (РТМ), который расположен в ошейнике животного. Для этого использованы формулы теории радиосвязи: дальности прямой видимости и Введенского^{3, 4}.

2. Построена 3D-графическая зависимость мощности передатчика от высоты полета БПЛА и дальности радиосвязи с животным, так называемый калибровочный график.

3. Проведен анализ процесса сканирования БПЛА территории пастбища с животными, который представлен в виде схемы позиционирования.

Для оценки максимальной погрешности при передаче сигнала РТМ с транспондера животного на ретранслятор БПЛА расчетным методом определили сдвиг частоты полезного сигнала при максимальной скорости полета БПЛА.

Для измерения времени полета БПЛА над реальным пастбищем применили квадрокоптер типа DJI Phantom 4 Advanced. В качестве полезной нагрузки был взят вес 350 г. Пастбищем использовали опытное поле в ОХ «Кутузовка» Харьковского района Харьковской области площадью 200 га, то есть прямоугольник 2×1 км². Исследования выполнены летом 2021 г.

Результаты и их обсуждение. Беспилотная система автоматизированного мониторинга животных на пастбище состоит из БПЛА и радиотехнических средств сбора, первичной обработки и передачи данных о физиологическом состоянии животных на персональный компьютер (ПК). Поэтому следует обосновать и рассчитать основные технические параметры

¹Пермяков В. А., Солoduхов В. В., Бодров В. В., Исаков М. В. Электродинамика и распространение радиоволн. М.: МЭИ, 2006. 184 с.

²Теория электрической связи: учебное пособие для студ. высших учебных заведений. Под общ. ред. Р. Р. Биккенина, М. Н. Чеснокова. М.: Академия, 2010. 329 с.

³Пермяков В. А., Солoduхов В. В., Бодров В. В., Исаков М. В. Указ. соч.

⁴Теория электрической связи. 2010

этих составных элементов системы. В отношении БПЛА параметрами, требующими обоснования, являются высота, скорость и время полета, а также полезная нагрузка. Среди важных технических параметров радиоаппаратуры, требующих расчета, является мощность аппаратуры РТМ на борту БПЛА и дальность связи.

1. *Обоснование и разработка параметров перемещения БПЛА над пастбищем и аппаратуры ретрансляции данных РТМ на борту.*

Предположим, что БПЛА совершает полет над пастбищем и периодически выполняет видеофиксацию животных и ретрансляцию данных с датчиков физиологического состояния. Обоснуем нужную высоту полета БПЛА над контролируемым участком пастбища.

Максимальную высоту полета БПЛА определяем, преобразуя формулу дальности прямой видимости:

$$h_2 = \left(\frac{D}{3,85} - \sqrt{h_1} \right)^2, \quad (1)$$

где h_2 – высота полета БПЛА, м;
 D – дальность прямой видимости, км;
 h_1 – высота передатчика на ошейнике животного (принимается 1 м).

Для большинства случаев поиска животных на пастбище можно принять максимальную дальность прямой видимости $D = 20$ км. Отсюда по формуле (1) находим высоту полета

БПЛА – 17,6 м. Учитывая то, что на пастбище могут расти деревья высотой 10-15 м или есть другие препятствия, для надежности выбираем максимальную высоту полета с запасом, то есть 25 м. При этом дальность прямой видимости по формуле (1) составляет более 20 км, что достаточно для выявления животных на площади пастбища более 1000 га.

Следующим этапом было обоснование мощности радиопередатчика данных РТМ, который расположен в транспондере на ошейнике животного, для уверенного приема радиосигнала с помощью приемника ретранслятора на борту БПЛА.

Для этого преобразуем формулу Введенского^{5, 6}:

$$P = \frac{D^4 \cdot \lambda \cdot E}{2,18^2 \cdot G \cdot h_1 \cdot h_2}, \quad (2)$$

где P – мощность передатчика, мВт; D – дальность, км; λ – длина волны передатчика, м; E – напряженность поля в точке приема, мВ/м; G – коэффициент направленного действия; h_1 – высота передатчика на ошейнике, м; h_2 – высота полета БПЛА, м.

Для расчета принимаем следующие данные: $D = 1$ км; $\lambda = 0,69$ м; $E = 0,01$ мВ/м; $G = 1,2$; $h_1 = 1$ м; h_2 принимает значение 5, 10, 15, 20 и 25 м. Рассчитанные данные мощности отражены на графике (рис. 1).

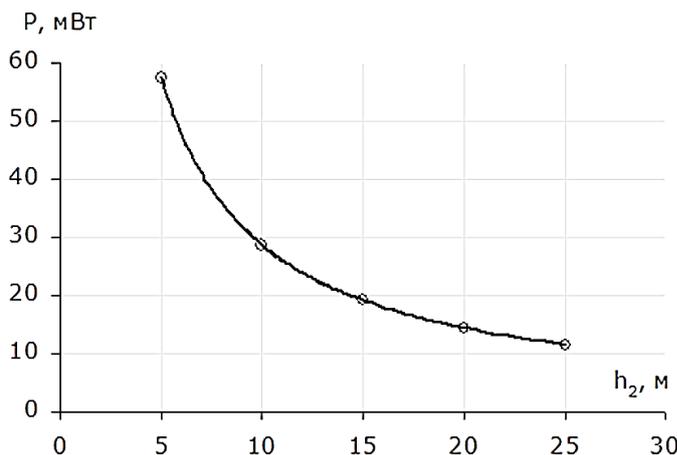


Рис. 1. Зависимость мощности передатчика радиотелеметрии от высоты полета беспилотного летательного аппарата /

Fig. 1. Dependence of the power of the radio telemetry transmitter on the flight altitude of the unmanned aerial vehicle

Далее аналогичным образом рассчитываем значение и строим график зависимости мощности (рис. 2) от дальности связи:

$$D = \sqrt{2,18 \cdot \sqrt{\frac{P \cdot G \cdot h_1 \cdot h_2}{\lambda \cdot E}}}. \quad (3)$$

⁵Пермяков В. А., Солодухов В. В., Бодров В. В., Исаков М. В. Указ. соч.

⁶Теория электрической связи. 2010.

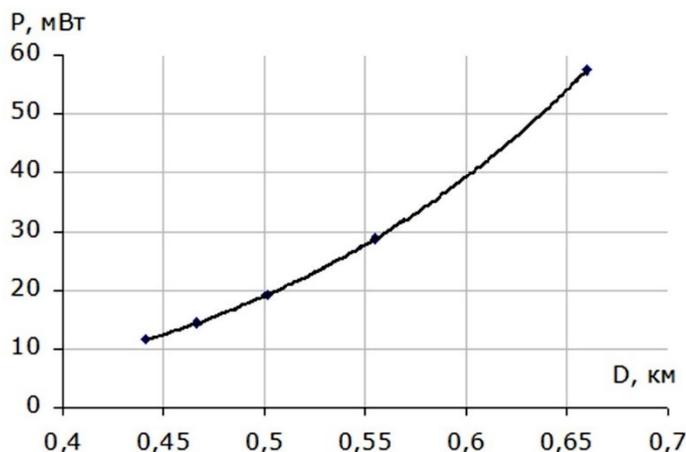


Рис. 2. Зависимость мощности передатчика радиотелеметрии от дальности связи с транспондером животного /

Fig. 2. Dependence of the power of the radio telemetry transmitter on the range of communication with the transponder of the animal

По рисункам 1 и 2 видно, что максимальная мощность составляет около 60 мВт, принимаем стандартное значение 100 мВт. При этой мощности дальность радиосвязи БПЛА с транспондером животного примерно 0,8 км.

Таким образом, имеем функциональную зависимость мощности от двух переменных – высоты h_2 и дальности D (рис. 3).

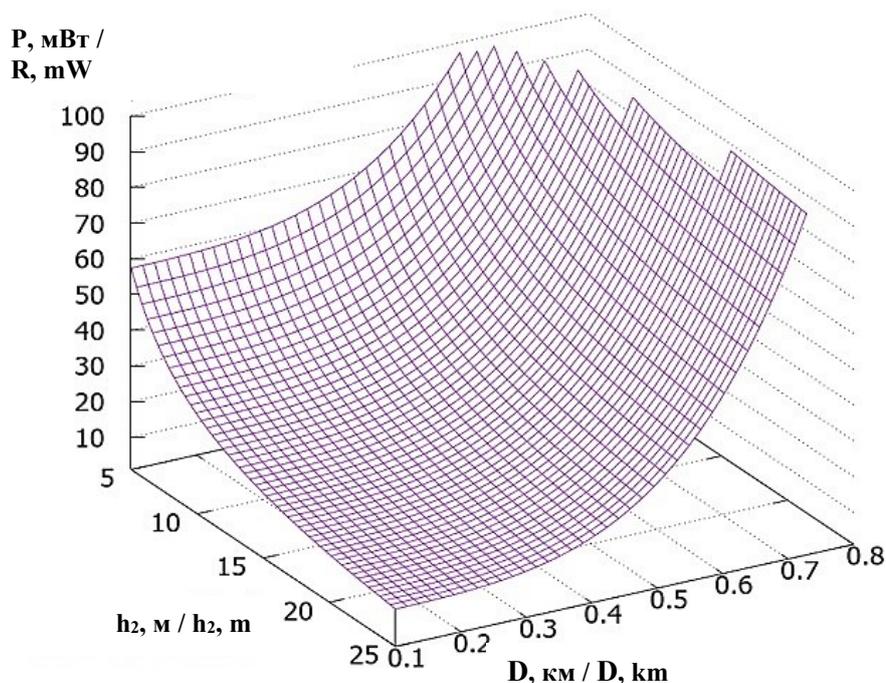


Рис. 3. 3D зависимость мощности от высоты полета беспилотного летательного аппарата и дальности радиосвязи с транспондером животного /

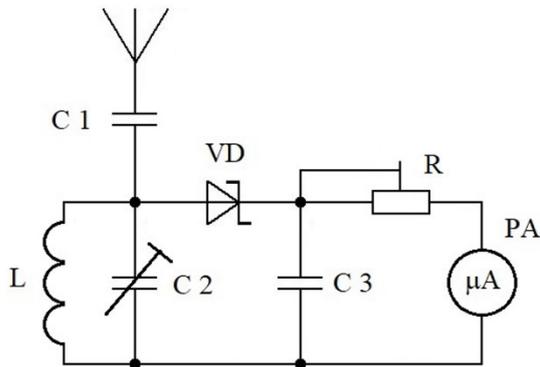
Fig. 3. 3D dependence of the power on the flight altitude of the unmanned aerial vehicle and the range of radio communication with the transponder of the animal

Анализируя график, можно констатировать, что чем больше дальность связи, тем больше необходима мощность транспондера на ошейнике животного. С другой стороны, чем меньше высота полета, тем больше должна быть мощность. Таким образом, по графику (рис. 3) можно найти оптимальные значения сразу двух параметров – дальности и высоты

при заданной мощности. Ввиду этого график можно считать калибровочным для графоаналитического определения этих параметров.

В датчиках нашейных транспондеров животных мощность передатчика составляет 5-7 мВт. Этой мощности достаточно лишь для приема сигнала на расстоянии до 50-100 м, поэтому необходимо увеличить мощность

радиосигнала с помощью нашейного ретранслятора, чтобы обеспечить надежную радиосвязь до 1 км. По параметрам, которые рассчитаны выше, для увеличения мощности выбран стандартный усилитель на 10 дБ, т. е. до 100 мВт. Усилитель размещается рядом с передатчиком транспондера и непосредственно соединяется с ним электрически. Кроме того, для повышения надежности связи к выходу усилителя подсоединяется согласованная гибкая антенна, которая размещается в ошейнике.



Необходимо также отметить, что возникает потребность оценки потери мощности полезного сигнала на линии связи ретранслятор – борт БПЛА. С этой целью были проведены полевые испытания приемо-передающей аппаратуры на дальность бесперебойной связи.

В качестве передатчика использован передающий тракт однокристалльного трансивера типа SI4432 на 433 МГц. Приемник выполнен по принципиальной схеме индикатора напряженности поля, которая показана на рисунке 4.

Рис. 4. Принципиальная схема резонансного индикатора напряженности поля на 433 МГц / Fig. 4. Schematic diagram of the resonant field strength indicator at 433MHz

Результаты измерений относительного уровня мощности сигнала в точке приема в зависимости от расстояния до передатчика представлены на рисунке 5.

Из рисунка 5 следует, что с ростом дальности сигнал затухает сильнее в случае приема

от транспондера лежащего животного. Поэтому при мониторинге животных на пастбище целесообразно их патрулирование БПЛА на расстоянии не далее 0,3 км, независимо от того лежит или стоит животное.

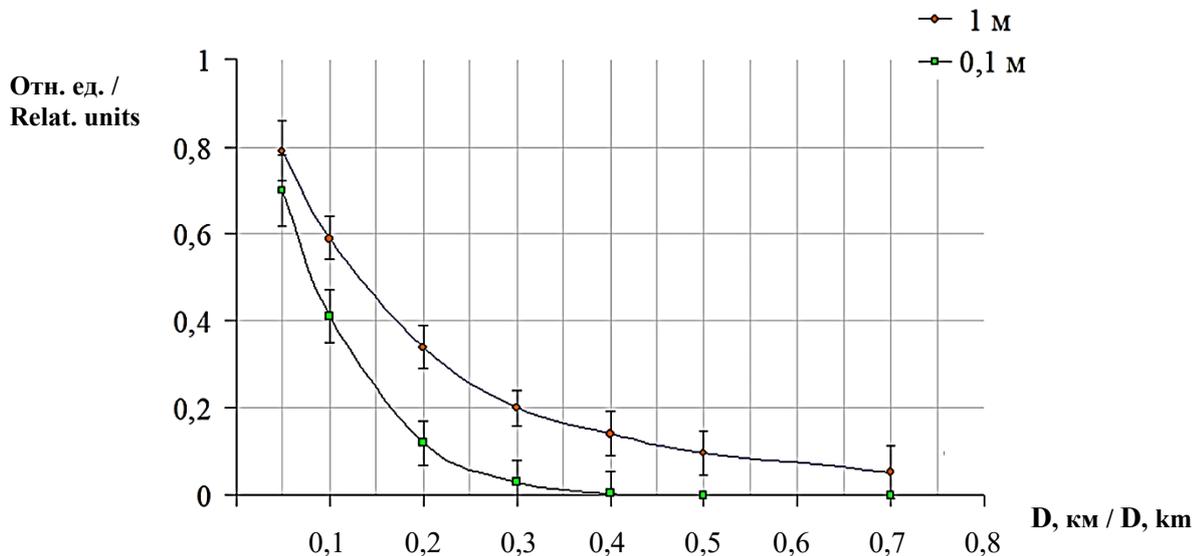


Рис. 5. Зависимость относительного уровня мощности сигнала в точке приема от дальности до передатчика при высоте приема 1,0 и 0,1 м /

Fig. 5. Dependence of the relative signal power level at the receiving point on the range to the transmitter at a receiving height of 1,0 and 0.1 m

Следующий этап обоснования и расчета необходимых технических параметров БПЛА –

определение максимальной скорости полета. Известно, что при относительном перемещении

приемника и передатчика, излучающего радиоволны, происходит сдвиг частоты по эффекту Доплера⁷. Смещение частоты Δf рассчитывали по формуле:

$$\Delta f = \pm \frac{f_0 \left(1 - \frac{V}{c}\right)}{1 - \frac{V}{c}}, \quad (4)$$

где f_0 – рабочая частота передатчика, 433 МГц; V – скорость БПЛА (100 км/ч = 0,03 км/с);

c – скорость света, $3 \cdot 10^5$ км/с.

Рассчитанный сдвиг частоты от 433 МГц составил $\Delta f = \pm 87$ Гц. При этом погрешность при передаче пакетов РТМ определена с учетом точности передачи $\delta = 2$ мс, (или 500 Гц) [19]:

$$\frac{\Delta f}{\delta} = \frac{87}{500} \cdot 100 = 17,4 \%. \quad (5)$$

График зависимости расчетного сдвига частоты от скорости полета БПЛА показан на рисунке 6.

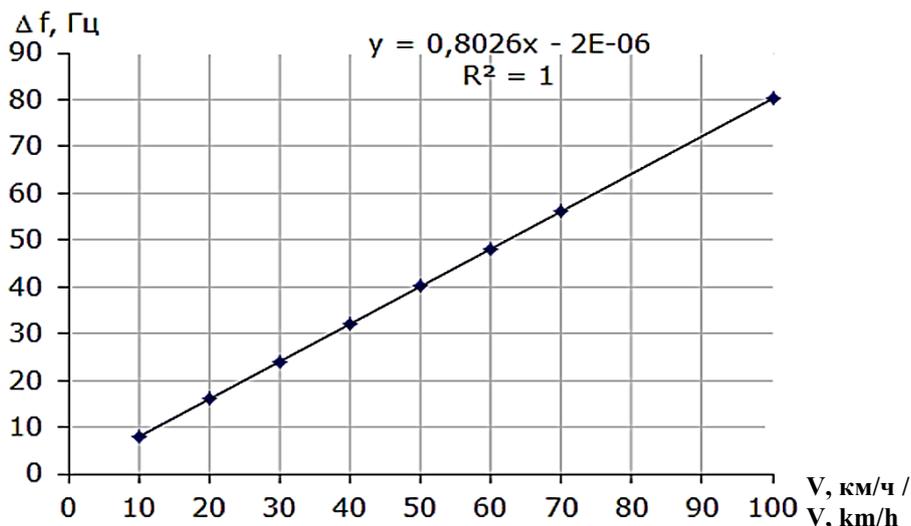


Рис. 6. Зависимость сдвига частоты по эффекту Доплера от скорости полета беспилотного летательного аппарата /

Fig. 6. Dependence of the frequency shift by the Doppler effect on the flight speed of an unmanned aerial vehicle

Для удовлетворительного качества радиосвязи скорость полета БПЛА не должна превышать 20 км/ч. Это необходимо для сведения смещения частоты по графику (рис. 6) до 16 Гц, что уже будет несущественно. Это значение можно определить также по эмпирической формуле линейной регрессии, показанной в верхней части графика. Согласно этому значению по формуле (5) погрешность передачи пакета данных составит 3,2 %, что вполне достаточно для безошибочной связи.

2. Экспериментальные исследования временных и нагрузочных параметров полета БПЛА.

Время полета большинства БПЛА среднего ценового сегмента составляет до 30 мин, что вполне достаточно для сканирования даже больших пастбищ площадью не менее 200 га. Поэтому целесообразно использовать относи-

тельно недорогие модели с техническими характеристиками, приближенными к рассчитанным выше.

В качестве такой модели для экспериментальных исследований параметров полета над реальным пастбищем был выбран БПЛА типа DJI Phantom 4 Advanced. Заявленная грузоподъемность данного типа БПЛА составляет 1,084 кг⁸.

В полезную нагрузку входят (кроме видеокамеры):

Радиомодуль серии RFM – 15 г.

Усилитель на 100 мВт для RFM-модуля – 35 г.

Элементы питания AA x4 – 24x4 = 96 г.

Пластиковый корпус с элементами крепления – 90 г.

Общий вес полезной нагрузки для БПЛА – 236 г.

⁷Эффект Доплера в классической физике. Под редакцией В. Н. Кологривова. М.: МФТИ, 2012. 32 с.

⁸Квадрокоптер DJI Phantom 4 Advanced. [Электронный ресурс].

URL: <https://rozetka.com.ua/104891064/p104891064/> (Дата обращения: 21.09.2021).

Таким образом, грузоподъемности данного БПЛА вполне достаточно для переноса аппаратуры ретрансляции данных от животного на пастбище. В качестве полезной нагрузки для испытаний был взят втрое меньший от заявленной грузоподъемности вес 350 г (стальной

брусек), но несколько больший, чем рассчитанный выше (с запасом).

Для определения времени полета с этой полезной нагрузкой на борту применяли схему полета БПЛА, показанную на рисунке 7.

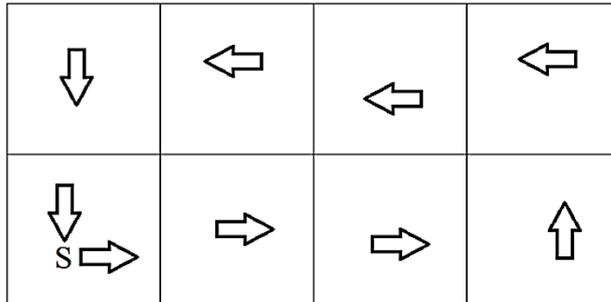


Рис. 7. Схема полета беспилотного летательного аппарата над пастбищем 2×1 км²: S – место старта /

Fig. 7. The flight diagram of an unmanned aerial vehicle over a pasture 2×1 km²: S – is the starting point

По данным (рис. 7) были приняты следующие параметры: дальность до животного 0,25 км, то есть круговая зона захвата ретранслятором БПЛА 500 м, высота полета – 20 м. Площадь пастбища поделена на условные квадраты 0,5×0,5 км

При полете БПЛА над каждым квадратом, который в текущее время охватывает его видеокамера, выполнялось зависание на 2-3 с над площадью сбора информации от животных, чтобы не было потери четкости видеоизображения. Для этого определено количество проходов БПЛА с зависанием над квадратами пастбища:

$$N = \frac{L \cdot H}{0,25} = 8, \quad (6)$$

где L , H – длина и ширина прямоугольной площади пастбища, 2 и 1 км соответственно.

По рассчитанным данным выполнен пролет БПЛА с полезной нагрузкой над опытным пастбищем, которое было разделено на 8 условных квадратов. Предварительные расчеты показали, что максимальное время полета над каждым квадратом не должно превышать 3 мин. С учетом зависания 2-3 с над каждым квадратом и возвращения в место старта общее время полета составило 27 мин и 23 с, то есть примерно 27,5 мин, что меньше максимума полетного времени.

По измеренному времени найдена средняя скорость полета над пастбищем:

$$\frac{500 \cdot 8}{27,5} \approx 145,5 \text{ м/мин}$$

или примерно 8,7 км/ч.

Таким образом, средняя скорость не превысила обоснованное выше значение ввиду возможного смещения частоты по эффекту Доплера.

Выводы: 1. Для системы беспилотного автоматизированного мониторинга физиологических показателей животных на пастбище обоснованы и рассчитаны основные параметры полета БПЛА – скорость не более 20 км/ч, высота не более 25 м.

2. Рассчитана требуемая мощность аппаратуры ретрансляции на борту БПЛА – не менее 60 мВт, дальность связи с транспондером животного – не более 0,8 км. Установлена в виде 3D графика зависимость параметров мощности передатчика на борту БПЛА, высоты полета и дальности связи с системой РТМ на ошейнике животного.

3. Экспериментально установлены следующие основные параметры полета БПЛА над пастбищем площадью 200 га: высота 20 м, скорость 8,7 км/ч, время 27,5 мин, полезная нагрузка 350 г.

References

1. Rutten C. J., Velthuis A. G. J., Steeneveld W., Hogeveen H. Invited review: sensors to support health management on dairy farms. *Journal of Dairy Science*. 2013;96(4):1928-1952. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-6107>
2. Steeneveld W., Vernooij J. C., Hogeveen H. Effect of sensor systems for cow management on milk production, somatic cell count, and reproduction. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(6):3896-3905. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-9101>
3. Steeneveld W., Hogeveen H. Characterization of Dutch dairy farms using sensor systems for cow management. *Journal of Dairy Science*. 2015;98(1):709-717. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8595>
4. Shigimaga V. A., Kosulina N. G., Chorna M. O., Borodaj I. I. Prospective aspects in the robotization development of animal husbandry processes. *Engineering of nature management*. 2021;4(22):77-81.
5. Шигимага В. А., Файзуллин Р. А., Косулина Н. Г., Сухин В. В., Коршунов К. С. Автоматические системы контроля и коррекции рационов кормления животных. *The scientific heritage*. 2021;(78-1):45-50. DOI: <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-45-50>

Shigimaga V., Faizullin R., Kosulina N., Sukhin V., Korshunov K. Automatic control and correction systems ratios for animal feeding. The scientific heritage. 2021;(78-1):45-50. (In Hungary). DOI: <https://doi.org/10.24412/9215-0365-2021-78-1-45-50>

6. Шигимага В. А., Файзуллин Р. А. Роботизированные системы контроля и управления качеством первичных продуктов животноводства: монография. Ижевск: Алкид, 2020. 162 с.

Shigimaga V. A., Fayzullin R. A. Robotic systems for quality control and management of primary animal products: monograph. Izhevsk: *Alkid*, 2020. 162 p.

7. Nanka O., Shigimaga V., Paliy A., Sementsov V., Paliy A. Development of the system to control milk acidity in the milk pipeline of a milking robot. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2018;3(9(93)):27-33.

DOI: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133159>

8. Henry D., Aubert H., Ricard E., Hazard D., Lihoreau M. Automated Monitoring of Livestock Behavior Using Frequency-Modulated Continuous-Wave Radars. Progress In Electromagnetics Research. 2018;69:151-160.

DOI: <https://doi.org/10.2528/PIERM18040404>

9. Rushen J., Chapinal N., De Passille A. M. Automated monitoring of behavioral-based animal welfare indicators. Animal Welfare. 2012;21(3):339-350. DOI: <https://doi.org/10.7120/09627286.21.3.339>

10. Rivas A., Chamoso P., González-Briones A., Corchado J. M. Detection of Cattle Using Drones and Convolution Neural Networks. Sensors. 2018;18(7):2048. DOI: <https://doi.org/10.3390/s18072048>

11. Hazard D., Bouix J., Chassier M., Delval E., Foulqui D., Fassier T., Bourdillon Y., Franois D., Boissy A. Genotype by environment interactions for behavioral reactivity in sheep. Journal of Animal Science. 2016;94(4):1459-1471.

DOI: <https://doi.org/10.2527/jas.2015-0277>

12. Austin R. Unmanned Aircraft Systems. UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons Ltd. 2010. 368 p. URL: https://www.jar2.com/Files/Reg_Austin_-_Unmanned_Air_Systems_UAV_Design_Development_and_Deployment_-_2010.pdf

13. Wichmann F. A., Drewes J., Rosas P., Gegenfurtner K. R. Animal detection in natural scenes: Critical features revisited. Journal of Vision. 2010;10(4):6. DOI: <https://doi.org/10.1167/10.4.6>

14. Webb P., Mehlhorn S. A., Smartt P. Developing Protocols for Using a UAV to Monitor Herd Health. Proceedings of the 2017 ASABE Annual International Meeting. Spokane, WA, USA. 16-19 July 2017. DOI: <https://doi.org/10.13031/aim.201700865>

15. Nyamuryekung'e S., Cibils A. F., Estell R. E., Gonzalez A. L. Use of an unmanned aerial vehicle – Mounted video camera to assess feeding behavior of raramuri criollo cows. Rangeland Ecology & Management. 2016;69(5):386-389.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rama.2016.04.005>

16. Ham Y., Han K. K., Lin J. J., Golparvar-Fard M. Visual monitoring of civil infrastructure systems via camera-equipped Unmanned Aerial Vehicles (UAVs): A review of related works. Visualization in Engineering. 2016;4:1.

DOI: <https://doi.org/10.1186/s40327-015-0029-z>

17. Verschor C. R. Conservation Drones for Animal Monitoring. 2016. 25 p. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.3921.7681>

18. Hodgson J. C., Baylis S. M., Mott R., Koh L. P. A comparison of the accuracy of simulated animal counts using traditional and UAV-assisted methods. Open Science Framework. 2016. DOI: <https://doi.org/10.17605/osf.io/a6n3b>

19. Боев Н. М. Анализ командно-телеметрической радиолинии связи с беспилотными летательными аппаратами. Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета им. академика М. Ф. Решетнева. 2012;(2(42)):86-91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17911550> EDN: PBYXTR

Boev N. M. Analysis of uav radio control and telemetry systems. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta im. akademika M. F. Reshetneva*. 2012;(2(42)):86-91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17911550>

Сведения об авторах

Шигимага Виктор Александрович, доктор техн. наук, профессор, Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко, г. Харьков, пр. Московский, д. 45, Украина, 61050,

e-mail: biovidoc@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2508-8742>

Файзуллин Рафаил Агзамович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7655-2272>

✉ **Осокина Анастасия Сергеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБУН «Удмуртский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук», ул. Татьяны Барамзиной, д. 34, г. Ижевск, Удмуртская Республика, Российская Федерация, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9452-139X>, e-mail: anastasia.osokina2017@yandex.ru

Information about the authors

Victor A. Shigimaga, DSc in Engineering, professor, Kharkov Petro Vasilenko National Technical University of Agriculture, Kharkov, Moskovskiy avenue, 45, Ukraine, 61050, e-mail: biovidoc@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2508-8742>

Rafail A. Faysullin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», 34, T. Baramzina st., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7655-2272>

✉ **Anastasiya S. Osokina**, PhD in Biological Science, senior researcher, Federal State Budgetary Institution of Science Federal State Budgetary Institution of Science «Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences», 34, T. Baramzina st., Izhevsk, Udmurt Republic, Russian Federation, 426067, e-mail: udnc@udman.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9452-139X>, e-mail: anastasia.osokina2017@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Эффективность использования субстратного технологического модуля в технологии выращивания мини-клубней картофеля

© 2023. А. С. Дорохов, А. Г. Пономарев, В. Н. Зернов, С. Н. Петухов, А. В. Сибирёв✉, А. Г. Аксенов

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва, Российская Федерация

Известные технологии и способы получения безвирусных мини-клубней картофеля заданной размерной фракции не в полной мере обеспечивают наивысший коэффициент размножения, что обусловлено недостаточной продуктивностью отдельного растения картофеля. На основе многолетних экспериментальных данных (2012...2022 гг.) дана оценка эффективности способов выращивания мини-клубней картофеля в условиях открытого и защищенного грунтов. Все способы выращивания можно разделить на две группы по сбору клубней с одного растения: традиционные (от 3 до 12 шт/раст.) и модифицированные (свыше 40 шт/раст.). Разработан высокоэффективный способ получения мини-клубней картофеля со сбором по мере их нарастания на почвенных субстратах со средней производительностью по годам не менее 50 штук мини-клубней с одного микро-клубня и 40 мини-клубней с одного безвирусного растения (при традиционных субстратных способах – от 3 до 10 мини-клубней). На основе данного способа создан субстратный технологический модуль нового поколения со сбором клубней по мере нарастания, позволяющий получать с одного безвирусного растения в среднем по годам от 40 до 55 мини-клубней, т. е. в сравнении с традиционными способами выращивания при разовой уборке в конце вегетации практически в 10 раз больше. Сбор мини-клубней по мере нарастания до заданного размера создаёт возможность получения клубней одной размерной фракции (10-25 г), что позволяет в дальнейшем, при закладке питомника первой полевой репродукции, применить механизированную посадку в поле и получить равномерные всходы.

Ключевые слова: вегетационные сооружения, способы выращивания, гидропоника, субстратный модуль, цеолиты, сбор по мере нарастания

Благодарности: работа выполнена в рамках реализации подпрограммы КНТП «Селекция и семеноводство картофеля». Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дорохов А. С., Пономарев А. Г., Зернов В. Н., Петухов С. Н., Сибирёв А. В., Аксенов А. Г. Эффективность использования субстратного технологического модуля в технологии выращивания мини-клубней картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):141-151. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.141-151>

Поступила: 23.08.2022

Принята к публикации: 24.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

The efficiency of using the substrate technological module in the technology of growing potato mini-tubers

© 2023. Aleksey S. Dorokhov, Andrey G. Ponomarev, Vitaliy N. Zernov, Sergey N. Petukhov, Aleksey V. Sibirev✉, Alexander G. Aksenov

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

Known technologies and methods for obtaining virus-free potato mini-tubers of a required size fraction do not fully provide the highest multiplication factor, which occurs due to the insufficient productivity of an individual potato plant. On the basis of long-term experimental data (2012...2022), an assessment of the effectiveness of methods for growing potato mini-tubers in open and protected ground conditions is given. According to the number of tubers harvested from one plant, all growing methods can be divided into two large groups: traditional (3-12 potatoes per plant) and modified (more than 40 potatoes per plant). A highly efficient method has been developed for obtaining mini-tubers of potatoes harvested as they grow on soil substrates with an average annual productivity of at least 50 mini-tubers from one micro-tuber and 40 mini-tubers from one virus-free plant (with traditional substrate methods – from 3 to 10 mini-tubers). Based on this method, there has been created a substrate technological module of a new generation harvesting tubers as they grow which makes it possible to obtain an average of 40 to 55 mini-tubers from one virus-free plant over the years, that is almost 10 times more in comparison with traditional methods of growing with a single harvest at the end of vegetation. Harvesting mini-tubers as they grow up to a required size creates the possibility of obtaining tubers of one size fraction (10-25 g), which allows later, when laying the nursery of the first field reproduction, to apply mechanized planting in the field and obtain uniform seedlings.

Keywords: vegetation structures, growing methods, hydroponics, substrate module, zeolites, harvesting in the course of growing

Acknowledgements: The research was carried out as part of the implementation of the subprogram of the KSTP "Breeding and seed production of potatoes".

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

Conflict of interests: The authors declared no conflict of interest.

For citation: Dorokhov A. S., Ponomarev A. G., Zernov V. N., Petukhov S. N., Sibirev A. V., Aksenov A. G. The efficiency of using the substrate technological module in the technology of growing potato mini-tubers. *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(1):141-151. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.141-151>

Received: 23.08.2022

Accepted for publication: 24.01.2023

Published online: 27.02.2023

Современные способы получения исходного материала в оригинальном семеноводстве картофеля предусматривают массовое производство безвирусных мини-клубней с применением биотехнологических методов оздоровления.

Несмотря на разнообразие традиционных технологий и способов выращивания оздоровленных мини-клубней (в грунтах, на стеллажах, в горшках) себестоимость их остаётся высокой. Затраты, понесённые на процесс производства исходного оригинального материала, часто компенсируются только на последующих этапах его размножения вплоть до элиты.

С целью снижения трудовых, энергетических и материальных затрат, за счёт применения механизированных обработок посадок, часто прибегают к выращиванию мини-клубней в полевых условиях. Однако, кроме строгого соблюдения защитных мероприятий, в этом случае необходимо учитывать большую зависимость приживаемости растений от погодных условий. Особенно сильно это сказывается при высадке в поле пророщенных растений.

Во всех перечисленных способах выращивания мини-клубней картофеля невозможно визуально осуществлять контроль роста клубней. Оценить количество, размер и качество клубней можно только во время уборки, которая осуществляется разово в конце вегетации растений. При этом требуется подкапывание картофельных кустов и отделение клубней от ботвы и почвы, что часто приводит к механическим повреждениям клубней, через которые могут проникать вирусные и другие инфекции. К тому же в конце вегетации неравномерность клубней по массе достигает от 5 до 100 г, а в поле до 150 г, что в дальнейшем сильно осложняет механизированную высадку мини-клубней в поле для получения оригинальных семян первой полевой репродукции¹ [1].

Изыскания и исследования инновационных технологий и способов получения безвирусных мини-клубней картофеля заданной размерной фракции, обеспечивающих наивысший коэффициент размножения за счет увели-

чения продуктивности каждого растения, являются весьма актуальными.

Во главу этих исследований ставятся задачи получения максимального количества клубней с каждого отдельно взятого безвирусного микро-растения, причём одной размерной фракции. Наиболее перспективными разработками в этом направлении считаются аэропонтные способы выращивания мини-клубней картофеля [2, 3]. С каждого растения собирают до 40 штук клубней и более [4]. Причём, по условиям сбора, мини-клубни желательнее получить одной размерной фракции, что позволяет на этапе выращивания первой полевой репродукции осуществлять их механизированную посадку [5, 6].

При гидропонтном способе выращивания картофеля требуется разработка специальной установки, позволяющей свободный доступ к растущим клубням для их сбора по мере нарастания, и оборудования, обеспечивающего периодическую подачу питательного раствора к корневой системе растений, а в паузах аэрацию корней.

В последнее время при разработке гидропонтных установок стали применять принцип аэропоники и агрегатопоники [7]. В аэропонтных установках растение закрепляется таким образом, что его корневая система вместе со столонами и клубнями висит в воздухе и либо непрерывно, либо через короткие промежутки времени орошается питательным раствором. Листостебельная часть растений при этом изолирована от зоны распыления питательного раствора. По мере нарастания клубней периодически осуществляется их сбор.

При выращивании клубней картофеля в агрегатопонике требуется периодическое промывание и стерилизация субстрата. Кроме того, сбор клубней при агрегатопонтной технологии выращивания осуществляется путем разовой уборки в конце вегетации, а это приводит к разбросу размеров собранных клубней по массе от 5 до 90 грамм, что усложняет механизацию последующей высадки клубней в поле и сказывается на равномерности всходов.

¹Симаков Е. А., Усков А. И., Варицев Ю. А. Новые технологии производства оздоровленного исходного материала в элитном семеноводстве картофеля: рекомендации. М.: «Агропрогресс», 2000. 80 с.

Следует отметить, что гидропонные способы выращивания картофеля требуют разработки специального оборудования и установок, а при случайном попадании в установку большого растения происходит массовое поражение здоровых растений.

Хранение мини-клубней, выращенных на гидропонике, желает лучшего. Поверхности клубней, собранных с гидропонных установок, покрыты белыми чечевичками – признак «удушения», а это говорит о переувлажнении, что и осложняет хранение мини-клубней во время прохождения периода покоя.

Следовательно, получение оздоровленных мини-клубней лучше проводить на почвенных субстратах. По этой причине, несмотря на активное продвижение гидропонных технологий, продолжают работы по изысканию способов получения мини-клубней из безвирусных картофельных микро-растений на почвенных субстратах.

В рамках рабочей программы ООО «Техагромаш» на базе тепличного комплекса ВНИИ картофельного хозяйства в течение трёх лет мы проводили изыскания способов получения безвирусных мини-клубней картофеля на субстратах, при этом учитывались положительные моменты гидропонных систем выращивания растений [8].

При прорастании клубня распространение корней первоначально происходит преимущественно вглубь почвы. При достижении растением фазы «бутонизация» над корнями (в подземной части его стеблей) вырастают столоны, начинается формирование клубней. Их может образоваться до трёх десятков, но в обычных условиях выращивания стандартного размера достигают только 5-15 штук (в зависимости от сложившихся условий и сорта). Экспериментально установлено, что удаление достигших заданного размера клубней вызывает рост клубней на других столонах. В то же время начинается ветвление столонов с удалёнными клубнями (3-5 отростков) и на концах отростков завязываются новые клубни.

Экспериментальные исследования морфологических особенностей роста и развития картофельного растения позволили реализовать гипотезу эффективного получения мини-клубней картофеля при малообъемном использовании субстратов [9], для ее подтверждения необходимо провести систематизацию способов производства исходного оздоровленного материала картофеля и выполнить разработку

технических средств, обеспечивающих повышение эффективности производства мини-клубней картофеля.

Цель исследования – оценка эффективности различных технологий и способов производства исходного оздоровленного материала картофеля, определение наиболее перспективных направлений их развития, разработка технологического модуля нового поколения.

Научная новизна – классификация различных технологий производства исходного оздоровленного материала картофеля по способам получения безвирусных мини-клубней, разработан субстратный технологический модуль нового поколения со сбором клубней по мере нарастания.

Материал и методы. Экспериментальные исследования на протяжении десятилетнего периода (2012-2022 гг.) включали в себя изучение технологических приёмов и инновационных способов получения оздоровленных мини-клубней картофеля как в условиях защищённого грунта, так и в поле.

Местом проведения экспериментов по отработке высокоэффективного способа получения мини-клубней картофеля со сбором по мере их нарастания на почвенных субстратах служили производственные площади ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, на которых выполнялась разработка и испытание технологического модуля нового поколения с 2017 по 2022 год. С целью защиты растений от переносчиков вирусной инфекции выращивание мини-клубней традиционно проводили в сооружениях защищённого грунта на почвенных субстратах в стеллажах, либо в горшках с единовременной уборкой урожая. При этом сбор клубней с одного растения не превышал 8-10 штук, а в среднем 3-5 штук с растения. Для получения наибольшего количества клубней с квадратного метра теплицы максимально увеличивали густоту посадки дорогостоящих безвирусных микро-растений. И даже в этом случае сбор клубней с квадратного метра не превышал 200-250 штук, а в среднем составлял 90-150 шт/м². Целью окучевания картофельного растения является затенение части стебля для создания зоны образования столонов и клубней [10, 11, 12]. Для этого использовали не почву, как в традиционных технологиях, а съёмное укрытие, затеняющее нижнюю часть стебля, образуя тем самым у картофельного растения искусственную зону для образования столонов и клубней. При этом в два и более раз сэкономили на использовании субстратов (зависит от типа питательных смесей).

Съёмное укрытие в зоне образования столонов дало возможность контролировать

рост клубней и проводить их сбор по мере достижения заданного размера (рис. 1).



Рис. 1. Субстратный способ получения мини-клубней со сбором их по мере нарастания /
Fig. 1. Substrate method for obtaining mini-tubers harvested as they grow

Больших затрат на внедрение разработанного способа производства безвирусных мини-клубней картофеля на почвенных субстратах со сбором клубней по мере нарастания (по сравнению с гидропонными установками) не потребуется. Для этого достаточно на готовых стеллажах стандартных стеллажных теплиц изготовить съёмное приспособление для создания зоны образования столонов. При этом, в сравнении с базовыми технологиями, питательного субстрата понадобится в два раза меньше. Главное условие, чтобы теплица была должным образом защищена от насекомых-переносчиков вирусов растений.

Наибольшей эффективностью обладают субстраты на основе модифицированных цеолитов, применение которых не требует необходимости в корневых подкормках растений в период вегетации. Схема воспроизводства безвирусных мини-клубней картофеля, а также способы производства и их эффективность представлены на схеме, изображенной на рисунке 2.

Субстрат на основе модифицированного цеолита путём обмена ионами образует с растением саморегулируемую систему, при этом высокие концентрации элементов в питательном субстрате нетоксичны и доступны в том количестве, какое необходимо растениям.

Разработанный способ сбора клубней на твёрдых субстратах по мере их нарастания, по аналогии, можно применить и к агрегатопонной технологии, что также на порядок увеличит количество мини-клубней, получаемых в расчёте на одно растение, но сохранит необходимость автоматизированной системы подачи питательного раствора.

Для подтверждения перспективности разработки модуля нового поколения проведены экспериментальные исследования с определением качественных показателей – масса клубней и выход мини-клубней.

Исследования проводили в трехкратной повторности, после чего для оценки вариационного ряда пользовались средними величинами массовых измерений. При этом использовали общепринятые в вариационной статистике понятия и элементы, характеризующие вариационный ряд: средняя вариационная – \bar{X} ; среднеквадратическое отклонение – σ ; коэффициент вариации – v . Каждый из основных элементов определяли по известным формулам вариационной статистики². Это позволило определить точность экспериментальных данных и установить допустимые пределы, в которых они достаточно надежны.

Для определения количества интервалов (K) варьирования воспользуемся эмпирической зависимостью:

$$K = \sqrt{n}, \quad (1)$$

где n – количество исследуемых растений, шт.

В нашем случае получаем:

$$K = \sqrt{100} = 10.$$

Диапазон размаха выборки:

$$R = X_{\max} - X_{\min}, \quad (2)$$

где X_{\max} , X_{\min} – максимальное и минимальное значение исследуемого признака.

Ширина интервала исследуемого признака:

$$D = R/K. \quad (3)$$

²Мойзес Б. Б., Плотникова И. В., Редько Л. А. Статистические методы контроля качества и обработка экспериментальных данных: учебное пособие. Томск: изд-во Томского политехнического университета, 2016. 119 с. URL: https://portal.tpu.ru/SHARED/m/MBB/uchebnaya_rabota/Tab2/Statistical_methods.pdf

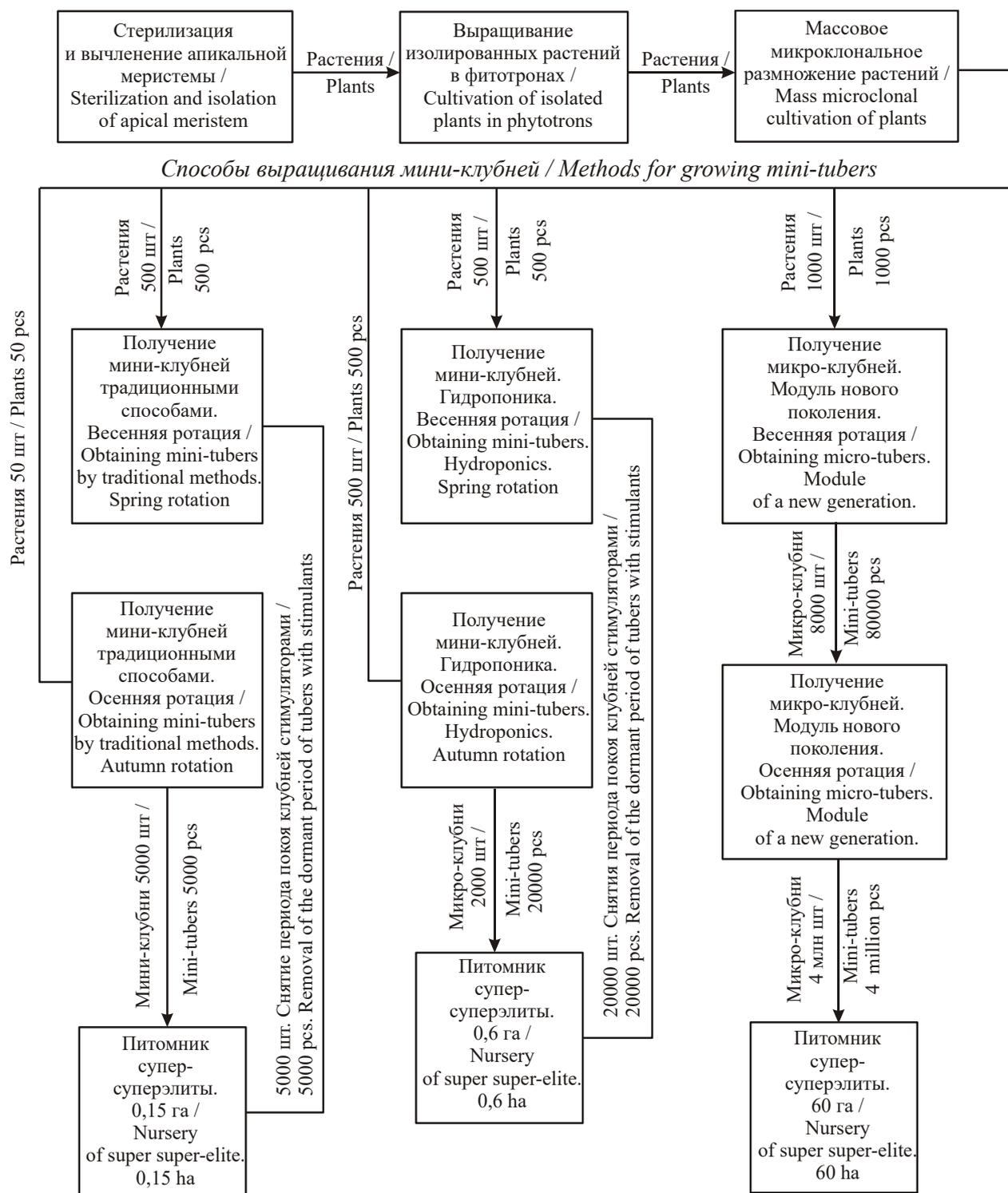


Рис. 2. Схема воспроизводства безвирусных мини-клубней картофеля / Fig. 2. Scheme of reproduction of virus-free potato mini-tubers

Результаты и их обсуждение. Результаты многолетних экспериментов по изучению способов и технологий производства оздоровленных мини-клубней картофеля представлены в таблице 1.

Итогом изучения всевозможных технологий и способов получения безвирусных мини-клубней картофеля стала их классификация с количественным выходом мини-клубней по каждому из вариантов выращивания (табл. 2).

Таблица 1 – Влияние способов выращивания на урожайность мини-клубней картофеля / Table 1 – The effect of growing methods on the yield of mini-tubers of potatoes

Способ выращивания / Growing method		Выход мини-клубней / Yield of mini-tubers		Масса клубней, г / Mass of tubers, g	Растений, шт/м ² / Plants, pcs/m ²	
		шт/м ² / pcs/m ²	шт/раст / pcs/plant			
Вегетационные сооружения / Vegetation structures	субстратный / substrate	1. Разовый сбор клубней / Single harvest of tubers: - в горшках / in pots - на стеллажах / on the shelves	125-250 90-240	5-10 3-8	5-45 5-100	25 30
		2. Сбор клубней по мере нарастания / Harvesting tubers as they grow: - на стеллажах / on the shelves - на технологическом модуле / on the technological module	1092-1377 1221-1626	36,4-45,9 40,7-54,2	5-20 5-20	30 30
	гидропонный / hydroponic	1. Сбор клубней по мере нарастания / Harvesting tubers as they grow: - чистая гидропоника / pure hydroponics - аэропоника / aeroponics - агрегатопоника / aggregatoponics	1158-1424	36,2-44,5	5-20	32
			1216-1478	38,0-46,2	5-20	32
			1191-1434	39,7-47,8	5-20	30
		2. Разовый сбор клубней / Single harvest of tubers: - агрегатопоника / aggregatoponics	150-300	5-10	5-90	30
Поле / Field	1. Высадка микро-растений / Planting micro-plants	48-96	3-6	20-120	16	
	2. Высадка микро-клубней / Planting micro-tubers	96-192	6-12	20-150	16	
	3. Высадка рассады / Transplanting	80-160	5-10	20-150	16	

Таблица 2 – Классификация способов получения безвирусных мини-клубней картофеля / Table 2 – Classification of methods for obtaining virus-free mini-tubers of potatoes

Вегетационные сооружения / Vegetation structures							Поле / Field			
Субстратные / Substrate			Гидропонные / Hydroponic							
горшки / pots	стеллажи / shelves	технологический модуль / technology module	чистая гидропоника / pure hydroponics	аэропоника / aeroponics	агрегатопоника / aggregatoponics					
					стеллажи / shelf	модуль / module				
Посадка / Planting										
микро-растения / micro-plants	микро-растения / micro-plants	микро-клубни / micro tubers	микро-растения / micro-plants				микро-растения / micro-plants	микро-клубни / micro tubers	рассада / seedling	
Уборка мини-клубней / Harvesting of mini-tubers										
разовый сбор / single harvesting	сбор по мере их нарастания / harvesting as they grow				разовый сбор / single harvesting	сбор по мере их нарастания / harvesting as they grow	разовый сбор / single harvesting			
Выход мини-клубней, шт/раст / Yield of mini-tubers, pcs/plant										
5-10	3-8	40-60	50-70	35-55	35-55	5-10	35-55	3-6	6-12	5-10

Из данных таблиц 1 и 2 видно, что все традиционные способы выращивания безвирусных мини-клубней малоэффективны. По количеству собранных клубней с одного растения все способы выращивания можно поде-

лить на две большие группы: с традиционным сбором клубней от 3 до 12 штук и свыше 40 штук с растения.

К первой группе относятся варианты субстратного производства в горшках и на

стеллажах, а также все способы выращивания мини-клубней в поле и агрегатопоника при разовом сборе мини-клубней. Основным признаком традиционных способов выращивания является сбор мини-клубней путём подкапывания куста в конце вегетации.

Ко второй группе относятся современные гидропонные способы выращивания: чистая гид-ропоника и аэропоника. Гидропонные способы позволяют осуществлять периодический сбор клубней по мере их подрастания до требуемого размера, что на порядок увеличивает выход мини-клубней в расчёте на растение.

В технологиях, где сбор клубней производится многократно по мере их нарастания до заданного размера, не только на порядок увеличивается выход мини-клубней с каждого растения, но и более чем на шесть месяцев удлиняется фаза максимального прироста

клубней, т. е. продляется период вегетации растений [12].

В то же время появляется возможность получать клубни одной размерной фракции. Как уже отмечалось выше, в гидропонных установках выращивания мини-клубней корневая система располагается в водно-воздушной среде, что негативно влияет на рост и развитие картофельного растения. Любой отказ системы подачи питательного раствора приводит к незамедлительному увяданию и гибели растений. Попадание в раствор инфекции приводит к заражению всех растений.

Проведенные эксперименты позволили разработать технологический модуль нового поколения (позволяющий исключить отмеченные недостатки гидропонных систем) с потенциалом размножения до 4000 клубней с одного растения в год, принципиальная схема которого и общий вид представлены на рисунках 3, 4 и 5.

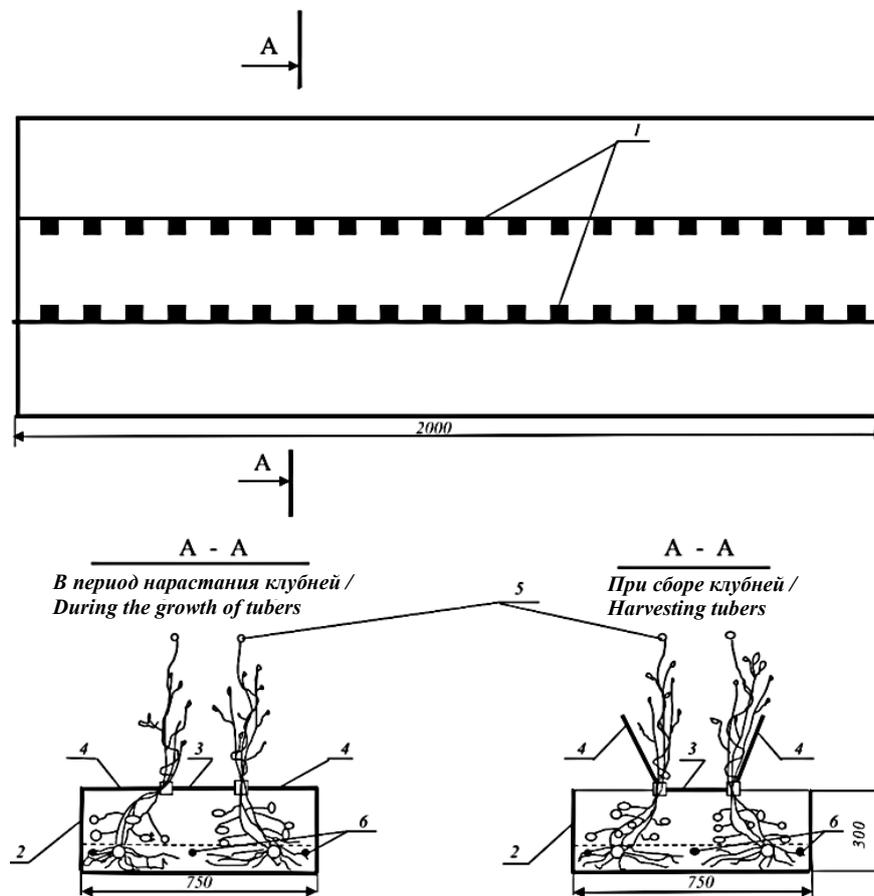


Рис. 3. Принципиальная схема макетного образца субстратного технологического модуля нового поколения: 1 – места крепления стеблей растений; 2 – короб технологического модуля; 3 – неподвижная панель с вырезами для фиксации растений; 4 – открывающиеся панели для контроля роста и сбора клубней; 5 – шпалеры для подвязывания растений; 6 – трубы капельного полива /

Fig. 3. Schematic diagram of the mock-up sample of the substrate technological module of a new generation: 1 - places of attachment of plant stems; 2 - technological module box; 3 - fixed panel with cutouts for fixing plants; 4 - opening panels to control the growth and collection of tubers; 5 - trellises for tying plants; 6 - drip irrigation pipes

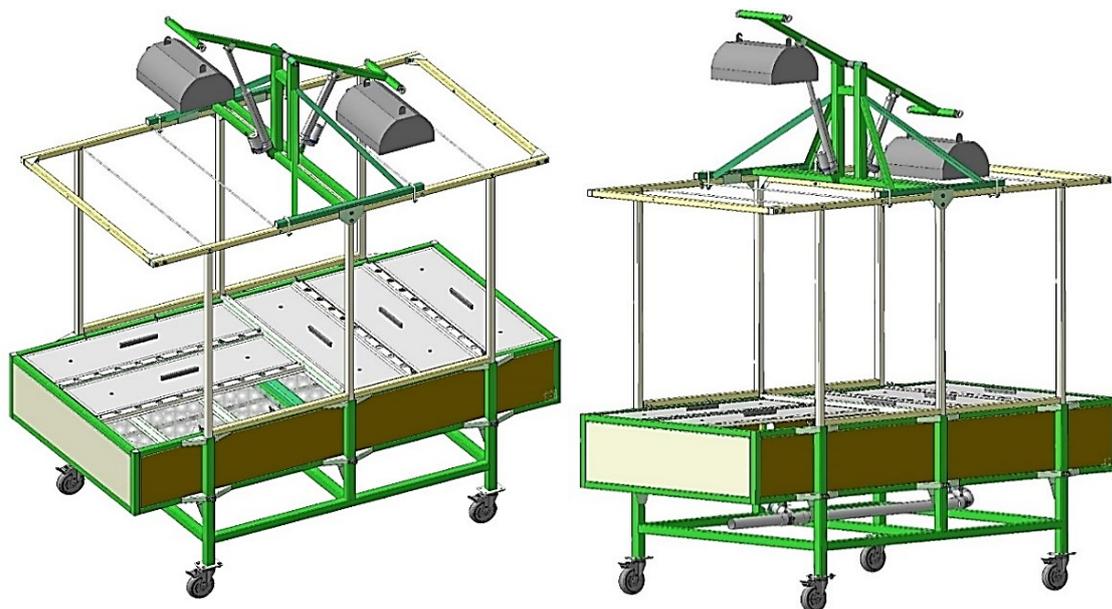


Рис. 4. Общий вид макетного образца субстратного технологического модуля нового поколения /
Fig. 4. General view of the mock-up sample of the substrate technological module of a new generation



Рис. 5. Субстратный технологический модуль нового поколения: а – общий вид модуля; б – зона образования столонов и нарастания мини-клубней /
Fig. 5. Substrate technological module of a new generation: a – general view of the module; b – zone of stolon formation and growth of mini-tubers

Корневая система при выращивании мини-клубней в модуле располагается в естественных для картофельного растения условиях – твердые субстраты (почвенный грунт, модифицированный цеолит и т.п.). Зона для образования столонов сформирована специальным укрытием, позволяющим контролировать рост клубней и производить их сбор по мере нарастания. Предложенный модуль позволяет воспроизводить мини-клубни не только из микро-растений (как в гидропонике), но и из микро-клубней, причем с большей эффективностью, чем из микро-растений. Из одного микро-клубня в среднем можно получить 50 шт мини-клубней, тогда как из одного безвирусного микро-растения – 40 шт.

При проведении весенней ротации возникает проблема снятия периода покоя мини-клубней перед высадкой их в поле. Обработка стимуляторами для снятия периода покоя позволяет довести всхожесть клубней не более чем до 70 %. Поэтому при традиционных и гидропонных способах воспроизводства мини-клубней в весеннюю ротацию при посадке в поле из-за низкой всхожести часть из них теряется.

Если на технологическом модуле в весеннюю ротацию собирать с высаженных безвирусных микро-растений не мини-клубни массой 10-25 грамм, а микро-клубни массой 3-5 грамм (их можно получать в среднем 80 шт с растения) и после прохождения у микро-клубней периода покоя (при хранении их в холодильных камерах) во время осенней ротации повторно

их высаживать (а не микро-растения) в технологический модуль нового поколения, то в течение года от каждого микро-растения можно получить свыше 4 тысяч мини-клубней ($80 \times 50 = 4000$), что в 100 раз больше, чем при гидропонных способах выращивания и в 400 раз больше, чем при традиционных.

Посадка мини-клубней в поле производится в мае, когда период покоя у них после осенней ротации уже пройден. Это исключает потери урожая в питомнике первого полевого поколения, которые неизбежны в традиционных и гидропонных системах из-за низкой всхожести мини-клубней, не прошедших период покоя.

Таким образом, разработанный способ позволит почти в два раза сократить объем питательных субстратов, в 1,5-2,0 раза удлинить период активной продуктивности картофельного растения по сравнению с традиционной технологией, организовать получение выравненных семенных клубней требуемого размера. Технология не требует дорогостоящего оборудования и материалов, что имеет место в случае гидропоники.

Выводы.

1. Результаты исследований различных технологий производства исходного оздоровленного материала картофеля позволили разработать их классификацию по способам получения безвирусных мини-клубней, оценить их эффективность, определить наиболее перспективные направления модернизации и на этой основе разработать технологический модуль по производству мини-клубней нового поколения.

2. Научные исследования и полученные практические результаты в селекционных работах при производстве мини-клубней картофеля позволяют утверждать, что традиционная технология их производства не может обеспечить ни высокого коэффициента размножения, ни качества. Аэрогидропонный способ выращивания имеет целый ряд существенных ограничений, главное из которых – для многих перспективных сортов он не позволяет добиться приемлемого результата. Субстратный способ выращивания мини-клубней – более перспективный. Годовая производительность технологического модуля нового поколения составит свыше 4 млн безвирусных мини-клубней (размерной фракции 10-25 г) на 1000 исходных микро-растений, при гидропонных способах выращивания – 40 тысяч мини-клубней (размерной фракции 10-25 г) на 1000 микро-растений, а традиционными способами – 10 тысяч мини-клубней на 1000 микро-растений с диапазоном размеров клубней от 10 до 120 грамм.

3. Сбор мини-клубней по мере нарастания создаёт возможность получения клубней одной размерной фракции (10-25 г), что позволяет в дальнейшем, при закладке питомника первой полевой репродукции, применить механизированную посадку в поле и получить равномерные всходы.

4. Относительная простота оборудования для получения мини-клубней и их посадки открывает возможность широкого использования его не только в специализированных хозяйствах по первичному семеноводству, но и в фермерских хозяйствах.

Список литературы

1. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Golyanovskaya S. A., Sergeeva L. I., Romanov G. A. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. Russian Journal of Plant Physiology. 2012;59(4):451-466. DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443712040024>
2. Алгазин Д. Н. Перспективы выращивания тепличных культур с применением аэропоники в условиях Сибирского региона. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2014;(1(13)):36-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507361> EDN: SYNTDH
3. Терентьева Е. В., Ткаченко О. В. Получение мини-клубней картофеля аэропонным способом. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2018;(4):61-72. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-4-61-72> EDN: YLSYQX
4. Чумак М. С., Потапенко Л. В., Волошин А. П. Актуальность беспочвенного выращивания растений методом аэропоники. Современный взгляд на будущее науки: сб. ст. Междунар. науч.-практ. конф. Уфа: Аэтерна, 2014. Ч. 2. С. 230-233. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21540786> EDN: ONCQOD
5. Зернов В. Н., Пономарев А. Г., Колчин Н. Н., Петухов С. Н. Развитие механизированной посадки картофеля в селекционных и семеноводческих питомниках. Картофель и овощи. 2017;(12):23-25. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.37.63.007> EDN: ZWQDWB
6. Дорохов А.С., Зернов В.Н., Петухов С.Н. Обоснование конструктивных требований к автоматизированному посадочному агрегату мини-клубней картофеля. Сельскохозяйственные машины и технологии. 2021;15(1):9-15. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-9-15> EDN: VSOOJL

7. Зернов В. Н. Классификация способов получения безвирусных мини-клубней картофеля на основе биотехнологических методов. Интеллектуальные машинные технологии и техника для реализации Государственной программы развития сельского хозяйства: сб. научн. докл. Международ. научн.-техн. конф. М.: Всероссийский научно-исследовательский институт механизации сельского хозяйства, 2015. С. 245-249.

8. Петухов С. Н., Аксенов А. Г., Сибирев А. В., Дорохов А. С. Технологические и биологические предпосылки разработки инновационной технологии получения мини-клубней картофеля. *Агротехника и энергообеспечение*. 2019;(4(25)):31-41. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41725884> EDN: H SXNFH

9. Замалиева Ф. Ф., Салихова З. З., Сташевски З. И. Семеноводство картофеля на оздоровленной основе. *Защита и карантин растений*. 2007;(2):18-20. EDN: H YLVCT

10. Rafique T., Jaskani M., Raza H., Abbas R. M. In vitro studies on microtuber induction in potato. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2004;(6(2)):375-377.

URL: https://www.researchgate.net/publication/234004548_In_vitro_studies_on_microtuber_induction_in_potato

11. Koda Y., Kikuta Y. Effects of jasmonates on in vitro tuberisation in several potato cultivars that differ greatly in maturity. *Plant Production Science*. 2001;4(1):66-70. DOI: <https://doi.org/10.1626/pp.s.4.66>

12. Ewing E. E., Struik P. C. Tuber Formation in Potato: Induction, Initiation and Growth. *Horticultural Reviews*. Ed. Janik J. Oxford, UK: Willey & Sons, 2010. Vol. 14. Ch. 3.

DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470650523.ch3>

References

1. Aksenova N. P., Konstantinova T. N., Golyanovskaya S. A., Sergeeva L. I., Romanov G. A. Hormonal regulation of tuber formation in potato plants. *Russian Journal of Plant Physiology*. 2012;59(4):451-466.

DOI: <https://doi.org/10.1134/S1021443712040024>

2. Algazin D. N. Prospects of growing of glass-cultures with the use of airponics in the conditions of Siberian region. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2014;(1(13)):36-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22507361>

3. Terentyeva E. V., Tkachenko O. V. Aeroponic production of potato mini-tubers. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2018;(4):61-72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2018-4-61-72>

4. Chumak M. S., Potapenko L. V., Voloshin A. P. The relevance of groundless cultivation of plants by aeroponic method. A modern view of the future of science: Collection of articles. International scientific and practical conf. Ufa: *Aeterna*, 2014. Part. 2. С. 230-233. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21540786>

5. Zernov V. N., Ponomarev A. G., Kolchin N. N., Petukhov S. N. The development of machine technology in the process of planting potatoes in breeding and seed nurseries. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2017;(12):23-25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2022.37.63.007>

6. Dorokhov A. S., Zernov V. N., Petukhov S. N. Design Requirements Substantiation for an Automated Planting Unit for Potato Minitubers. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(1):9-15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-9-15>

7. Zernov V. N. Classification of methods for obtaining virus-free mini-tubers of potatoes based on biotechnological methods. Smart machine technologies and equipment for the implementation of the State program for the development of agriculture: collection of scientific papers. International scientific and technical conf. Moscow: *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva*, 2015. pp. 245-249

8. Petukhov S. N., Aksenov A. G., Sibirev A. V., Dorokhov A. S. Technological and biological prerequisites for the development of innovative technology for potato mini-tubers production. *Agrotekhnika i energoobespechenie*. 2019;(4(25)):31-41. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41725884>

9. Zamalieva F. F., Salikhova Z. Z., Stashevski Z. I. Potato seed production on a healthy basis. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2007;(2):18-20. (In Russ.).

10. Rafique T., Jaskani M., Raza H., Abbas R. M. In vitro studies on microtuber induction in potato. *International Journal of Agriculture and Biology*. 2004;(6(2)):375-377.

URL: https://www.researchgate.net/publication/234004548_In_vitro_studies_on_microtuber_induction_in_potato

11. Koda Y., Kikuta Y. Effects of jasmonates on in vitro tuberisation in several potato cultivars that differ greatly in maturity. *Plant Production Science*. 2001;4(1):66-70. DOI: <https://doi.org/10.1626/pp.s.4.66>

12. Ewing E. E., Struik P. C. Tuber Formation in Potato: Induction, Initiation and Growth. *Horticultural Reviews*. Ed. Janik J. Oxford, UK: Willey & Sons, 2010. Vol. 14. Ch. 3.

DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470650523.ch3>

Сведения об авторах

Дорохов Алексей Семенович, доктор техн. наук, академик РАН, зам. директора по научно-организационной работе, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Пономарев Андрей Григорьевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>

Зернов Виталий Николаевич, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>

Петухов Сергей Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Сибирёв Алексей Викторович**, доктор техн. наук, старший научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Аксенов Александр Геннадьевич, доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий и машин в овощеводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>

Information about the authors

Aleksey S. Dorokhov, DSc in Engineering, academician of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Scientific and Organizational Work, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4758-3843>

Andrey G. Ponomarev, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>

Vitaliy N. Zernov, PhD in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1443-9407>

Sergey N. Petukhov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Aleksey V. Sibirev**, DSc in Engineering, senior researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9442-2276>, e-mail: sibirev2011@yandex.ru

Alexander G. Akkenov, DSc in Engineering, leading researcher, the Department of Technologies and Machines in Vegetable Growing, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutskiy proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9546-7695>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.152-161>

УДК 338.43.02 + 338.434

Распределение субсидий среди субъектов агропромышленного комплекса Казахстана

© 2023. С. К. Сейтов ✉

ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», г. Москва, Российская Федерация

Перед Казахстаном остро стоит проблема ограниченности бюджетных средств, предназначенных для субсидирования сельского хозяйства. В этих условиях важно обеспечивать адресность выделения субсидий, когда они доставляются тем производителям, которые в состоянии наиболее эффективно воспользоваться субсидиями для своих производственных нужд. Цель исследования – выделить основные тенденции в распределении субсидий в АПК Казахстана и их влияние на результаты работы отрасли. На эффективность субсидирования влияет не только его структура по видам, но и особенности его распределения среди товаропроизводителей. В среднем за 2018-2021 гг. 30 крупнейших субъектов АПК, получив 4-10 % от общего объема субсидирования, дали 4-15 % от налоговых поступлений, имели 3-7 % от валовой прибыли в сельском хозяйстве Казахстана. Коэффициенты концентрации за 2018-2021 годы не превышали 0,10, а для 150 крупнейших хозяйств – не превосходили 0,21, что не показывает значительных изменений за 2020-2021 годы. Данный показатель позволяет оценить степень неравномерности распределения субсидий между хозяйствами – получателями: чем он выше, тем более неравномерно сосредоточена поддержка. Индексы равномерности распределения субсидий на основе прибыли характеризуются тенденцией к снижению в 2018-2021 годах, отражая факт сокращения вклада крупнейших получателей субсидий в общеотраслевую валовую прибыль. Та же настораживающая тенденция присуща индексам равномерности распределения субсидий на основе налоговых поступлений. В работе на основе авторской методики раскрыта связь между эффективностью производства, обеспечиваемой за счет инноваций, и увеличением вклада инновационно активных производителей в общеотраслевую валовую прибыль. Субсидируя передовых и инновационно активных производителей, государство будет способствовать увеличению отдачи от субсидий (выражаемой в виде роста вклада реципиентов в общеотраслевую валовую прибыль). Исходя из указанных принципов, рекомендуется расставлять приоритеты в субсидировании субъектов АПК.

Ключевые слова: сельское хозяйство, сельскохозяйственные производители, коэффициент концентрации, эффективность производства, валовая прибыль, налоговые поступления

Благодарности: Исследование выполнено при поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-310-90075. Автор благодарит рецензентов за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сейтов С. К. Распределение субсидий среди субъектов агропромышленного комплекса Казахстана. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(1):152-161. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.152-161>

Поступила: 17.08.2022

Принята к публикации: 16.01.2023

Опубликована онлайн: 27.02.2023

Subsidy distribution among the subjects of agro-industrial complex in Kazakhstan

© 2023. Sanat K. Seitov ✉

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

The problem of limited budget funds for subsidizing agriculture is acute in Kazakhstan. Under these conditions, it is important to ensure targeting of subsidies, when they are delivered to those producers who are able to use them effectively for the production needs. The aim of the research is to highlight the main trends in the distribution of subsidies in the agro-industrial complex of Kazakhstan and their impact on the results of the industry. The efficiency of subsidies is influenced not only by their structure by type, but also by their distribution among commodity producers. On average in 2018-2021, thirty largest subjects of the agro-industrial complex, receiving 4-10 % of the total amount of subsidies, give 4-15 % of tax revenues, have 3-7 % of the gross profit in agriculture in Kazakhstan. The concentration ratios for 2018-2021 do not exceed 0.10, and for 150 largest farms they do not exceed 0.21, showing no significant changes in 2020-2021. This indicator allows to estimate the degree of uneven distribution of subsidies among recipient farms: the higher it is, the more unevenly the support is distributed. The indices of even distribution of subsidies based on profits are characterized by a downward trend in 2018-2021, regarding that the contribution of the largest subsidy recipients to the total gross profit has decreased. The same suspicious trend is inherent in the Equal Distribution of Subsidies Indices based on taxes paid. Based on the author's method, the paper reveals the connection between production efficiency, provided at the expense of innovations, and the increase in the contribution of innovatively active producers to the industry's gross profit. By subsidizing advanced and innovatively active producers, the state will contribute to the

increase of return on subsidies (expressed as an increase in the recipients' contribution to the industry's gross profit). Based on these principles, the author recommends to prioritize subsidizing among subjects of the agro-industrial complex.

Keywords: agriculture, agricultural producers, concentration ratio, production efficiency, gross profit, tax revenues

Acknowledgments: The reported study was funded by RFBR, project number 20-310-90075.

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

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

For citation: Seitov S. K. Subsidy distribution among the subjects of agro-industrial complex in Kazakhstan. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(1):152-161. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.1.152-161>

Received: 17.08.2022

Accepted for publication: 16.01.2023

Published online: 27.02.2023

Исчерпывающей и универсально применимой методики оценки эффективности государственной поддержки сельскохозяйственных производителей в мировой науке и практике пока нет. Взгляды экономистов насчет предпосылок и методик по расчету показателей оценки эффективности расходятся. Выдвигаемые различными экспертами выводы об эффективности использования выделяемых субсидий порой абсолютно разные. Одни ученые (например, В. В. Маслова, М. В. Авдеев [1]) заявляют о высокой эффективности субсидий, в то время как другие (О. В. Шик, Р. Г. Янбых, Е. В. Серова [2]) утверждают обратное: бюджетные ассигнования осваиваются неэффективно, без должной отдачи, существенная их доля не доходит до нуждающихся в них сельскохозяйственных товаропроизводителей, в конечном счете попадая в адрес I и III сфер АПК – поставщиков ресурсов и перерабатывающих предприятий.

Принцип доступности применительно к поддержке означает, что бюджетные средства должны быть доступны для каждого товаропроизводителя, который выполняет все требования, установленные нормативно-правовыми актами [3]. В Казахстане субсидии выдаются в порядке очередности подачи заявки. Если какие-либо товаропроизводители первыми подают заявку, то они раньше других получают субсидии, нередко исчерпывая лимиты субсидий. Такая ситуация складывалась до сохранения истории подаваемых заявок на субсидирование. Необходимость достижения высокой отдачи от субсидирования (в виде повышения эффективности деятельности реципиентов), с одной стороны, и обеспечение принципа доступности,

с другой, – предопределяют актуальность данной темы для Казахстана.

Подходы к рациональному распределению субсидий среди сельскохозяйственных производителей нуждаются в доработке и обосновании. В. Я. Узун и другие выделяют необходимость обеспечения равного доступа товаропроизводителей из всех регионов к средствам поддержки сельского хозяйства [3]. Это важно для обеспечения равных условий конкуренции на федеральном и местных рынках для производителей из разных регионов, для оптимального размещения сельскохозяйственного производства в стране [3]. Г. В. Беспехотный и другие в качестве методологического принципа планирования выдвигают выравнивание условий хозяйствования для простого воспроизводства и роста производства в хозяйствах, демонстрирующих наибольшую отдачу от субсидий¹.

В. Я. Узун и Е. А. Гатаулина указывают на необходимость учета уровня охвата сельскохозяйственных производителей мерами поддержки, подчеркивая соблюдение принципа доступности субсидий². Ученые сравнивают показатели экономической деятельности российских сельскохозяйственных организаций – получателей субсидий, соотнося долю субсидирования с долей в валовой выручке³. Интересен подход А. Д. Елфимова, увязывающего цель государственной поддержки сельскохозяйственных производителей с обеспечением уровня их доходности, достаточного для расширенного воспроизводства, а также с ориентиром на соблюдение пороговых уровней продовольственной безопасности в стране⁴.

¹Беспехотный Г. В., Барышников Н. Г., Капитонов А. А., Корнеев А. Ф., Толманов В. Е., Семин А. Н., Мезенин Н. А., Аглоктова С. В., Копытов М. Н., Хасанова З. Х. Методика планирования бюджетных субсидий для сельскохозяйственных товаропроизводителей. М. 2007. С. 4.

²Узун В. Я., Гатаулина Е. А. Методические подходы к оценке эффективности государственной поддержки сельскохозяйственных товаропроизводителей. М.: ВИАПИ им. А. А. Никонова, 2010. С. 4.

³Там же. С. 45-51.

⁴Елфимов А. Д. Совершенствование государственного регулирования процесса воспроизводства в сельском хозяйстве: дис. ... канд. экон. наук. Белгород, 2016. С. 53. URL: <http://ds.vysau.ru/wp-content/uploads/2016/10/%D0%94%D0%B8%D1%81%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%82%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F-%D0%95%D0%BB%D1%84%D0%B8%D0%BC%D0%BE%D0%B2%D0%B0-%D0%BB%D0%B5%D1%82%D0%BE2016.pdf>

Р. Р. Хакимов связывает эффективность поддержки сельскохозяйственных производителей с рентабельностью производства, чтобы выявить степень влияния субсидий на финансовые результаты производителей⁵. Кроме того, он рассматривает воздействие субсидирования на финансовую устойчивость производителей (степень платежеспособности)⁶.

В научном сообществе нет однозначного мнения насчет превосходства одной формы над другой. В результате неясно, в пользу поддержки каких форм государство должно отдавать предпочтение. А. В. Петриков [4], О. Г. Овчинников [5], О. Я. Старкова [6], Е. А. Гатаулина и Р. Г. Янбух [7], И. Н. Буздалов [8], Л. Л. Пашина и другие [9] призывают к приоритетному порядку поддержки малых форм хозяйствования, указывая на чрезмерную концентрацию субсидий в отдельных крупных хозяйствах. К. Г. Бородин также рекомендует делать фокус на поддержке малых предприятий, в первую очередь фермерских (крестьянских) хозяйств, отмечая их более высокую восприимчивость к новым технологиям, адаптируемость к социально-экономическим переменам, изменениям спроса, лучший учет региональных особенностей и т. п. [10]. М. Петрик (M. Petrick) и Л. Гетц (L. Götz) заключают, что рассредоточение инвестиционных субсидий среди большого числа малых производителей лучше стимулирует молочное производство, чем если бы они выделялись небольшому числу крупных производителей [11, 12]. Сосредоточение субсидий в руках агрохолдингов ведет к получению ими дополнительных преимуществ и тем самым – к еще большему вытеснению малых форм хозяйствования [13]. И. Г. Ушачев поднимает вопрос о необходимости расширения доступа малых форм к льготному кредитованию [14]. В 14 регионах разных федеральных округов РФ преимущество в получении субсидий на возмещение процентных ставок по кредитам имеют сравнительно крупные предприятия: доля хозяйств, получающих эти субсидии, в выручке превышает их долю в численности хозяйств [15].

Но не все ученые солидарны с тезисом о преимуществах малых форм. Есть и те, кто считает, что только крупное производство может быть эффективным, за счет эффекта масштаба, экономии на средних издержках [16].

Понятно, что малые формы хозяйствования играют большую социальную роль, обеспечи-

вают занятость и доходы для сельского населения, продовольственную безопасность и т. д. Однако эти доводы не должны автоматически становиться аргументом для привилегированного положения малых форм в получении субсидий. Производители разнородны по уровню эффективности производства, которая не определяется формой хозяйствования. Необходим иной критерий для претендования на бюджетные средства – а именно эффективность производства, выражаемая в производительности факторов производства, урожайности, продуктивности животных. Не все ученые придерживаются позиции приоритетной поддержки малых форм, выделяя иные подходы к выбору приоритетных категорий получателей субсидий. Так, В. З. Мазлоев, А. Б. Кцоев предлагают увязывать субсидии с финансовыми показателями деятельности производителей [17, 18]: занимающие более высокие строки рейтинга должны получать больше субсидий, чем менее финансово состоятельные субъекты.

Представленные подходы оценивают распределение субсидий между субъектами АПК на примере России, тогда как для Казахстана такие исследования были бы не менее актуальны. Предлагаем сопоставлять долю субъектов АПК – реципиентов в общем объеме субсидирования с их долей в валовой прибыли и общем объеме оплаченных налогов в сельском хозяйстве страны. Прибыль, характеризуя масштабы производства субъектов АПК, выступает индикатором эффективности их деятельности в рыночной экономике. Сумма оплаченных налогов раскрывает бюджетную эффективность поддержки. Полученная информация служит основой для оценки эффективности распределения субсидий.

Цель исследования – выделить основные тенденции в распределении субсидий в АПК Казахстана и их влияние на результаты работы отрасли.

Научная новизна состоит в конкретизации распределения субсидий в разрезе категорий и размеров их получателей; в определении степени равномерности распределения сельскохозяйственных субсидий среди реципиентов на основе авторской методики. Рассчитаны индексы равномерности распределения субсидий на основе прибыли и оплаченных налогов, предложены их интерпретации.

⁵Хакимов Р. Р. Развитие государственной поддержки сельскохозяйственных организаций в регионе (на материалах Республики Башкортостан): дис. ... канд. экон. наук. Уфа, 2015. С. 34.

URL: <https://nsau.edu.ru/file/71641?get=f8115bd9699fb5e0dcf154d405813622>

⁶Там же.

Материал и методы. Характер распределения субсидий среди получателей может влиять на уровень эффективности первых. Для анализа распределения можно использовать коэффициент концентрации CR_n для n производителей, лидирующих по объему получаемых субсидий (поэтому предварительно необходимо проранжировать производителей по объему субсидий):

$$CR_n = \sum_{i=1}^n \frac{Subs_i}{Subs_{Total}}, \quad (1)$$

где $Subs_i$ – объемы субсидий, направленных первым n крупнейшим хозяйствам-получателям; $Subs_{Total}$ – общий объем субсидирования сельского хозяйства.

Ценна информация о том, насколько велик вклад получателей субсидий в формирование общепромышленной валовой прибыли. Предлагаем использовать индекс равномерности распределения субсидий на основе прибыли – это соотношение между долей n компаний в общей валовой прибыли сельского хозяйства и долей n крупнейших получателей субсидий в общем объеме субсидирования (IPR_n):

$$IPR_n = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{PR_i}{PR_{Total}}}{\sum_{i=1}^n \frac{Subs_i}{Subs_{Total}}}, \quad (2)$$

где PR_i – валовая прибыль n крупнейших получателей субсидий; PR_{Total} – общая валовая прибыль сельского хозяйства в стране.

Индекс, превосходящий 1, оправдывая отдачу субсидий, говорит о значительных возможностях достижения прибыли вне зависимости от наличия господдержки. При индексе, меньшем 1, субсидии обычно направлены на покрытие убыточных или малоприбыльных субъектов АПК.

Для соотнесения налоговых поступлений и субсидий следует использовать индекс равномерности распределения субсидий на основе оплаченных налогов среди n крупнейших получателей субсидий (IPT_n):

$$IPT_n = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{PT_i}{PT_{Total}}}{\sum_{i=1}^n \frac{Subs_i}{Subs_{Total}}}, \quad (3)$$

где PT_i – сумма налогов, оплаченных первыми n крупнейшими хозяйствами-получателями субсидий; PT_{Total} – общая сумма оплаченных налогов в сельском хозяйстве страны.

Индекс равномерности распределения субсидий на основе оплаченных налогов показывает, насколько велик вклад ведущих получателей субсидий в сумму оплаченных налогов по отрасли.

Результаты и их обсуждение. Юридические лица преобладают в структуре получателей субсидий в сельском хозяйстве Республики Казахстан (69,6 % от общей суммы выданных субсидий и 42,2 % от общего числа оплаченных заявок в 2021 году по стране). Они получили 27,3 млрд руб. по 98,8 тыс. заявок на субсидии. Физические лица забирают меньшую долю – 14,0 % от общей суммы выданных субсидий и 29,5 % от общего числа оплаченных заявок. Физические лица получили 5,5 млрд руб. по 69,2 тыс. заявок на субсидии. Остальная часть приходится на индивидуальных предпринимателей (рис. 1 и 2). Невзирая на меньший удельный вес юридических лиц в структуре оплаченных заявок, они за счет больших объемов субсидируемого производства получают больше субсидий в денежном выражении, чем физические лица и индивидуальные предприниматели.

О. В. Шик отмечает сосредоточение субсидий в руках наиболее крупных и финансово успешных производителей, что отражает экспортноориентированность аграрной политики России [19]. Только 2,1 % малых форм хозяйствования получали субсидии в 2016 году, в следующем – эта доля уменьшилась до 1,6 % [19]. Им отводится всего 4 % субсидий из федерального бюджета [19]. В Казахстане противоположная ситуация. Малые формы хозяйствования в большей степени представлены в структуре реципиентов субсидий. Это различие может быть связано с большим количеством и большим размером крупнейших производителей (прежде всего агрохолдингов) в России относительно Казахстана. Отличаясь внушительными объемами производства, они и аккумулируют преобладающую часть субсидий в России. В Казахстане таких «гигантов», перетягивающих средства в свою пользу, намного меньше и по количеству, и по размерам производства. Более того, несмотря на оказывавшуюся колоссальную поддержку, несколько крупных агрохолдингов («Алиби», «Иволга», «КазЭкспортАстык»⁷) обанкротились в 2017-2018 годах, что сделало структуру получателей субсидий более равномерной.

⁷Клеменкова К. Зерновые миллионеры Казахстана проиграли в битве за пашни. Sputnik Казахстан. 16.09.2017. [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.sputnik.kz/20170916/zernovyye-millionery-kazahstana-proigrali-v-bitve-za-pashni-3250220.html> (дата обращения: 04.08.2022)

Структура получателей субсидий по объему выданных субсидий / Structure of subsidy recipients by volume of issued subsidies

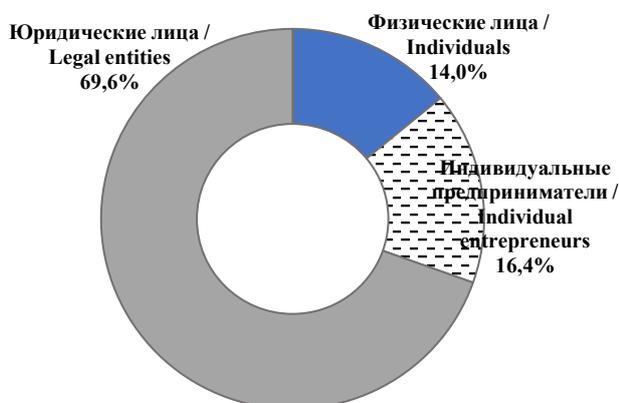


Рис. 1. Распределение выданных субсидий по организационно-правовым формам получателей в Казахстане в 2021 году, % /

Fig. 1. Distribution of issued subsidies by legal forms of recipients in Kazakhstan in 2021, %

Структура получателей субсидий по количеству оплаченных заявок / Structure of subsidy recipients by number of paid applications

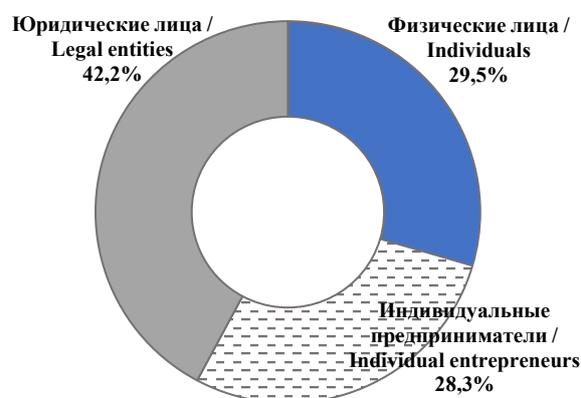


Рис. 2. Распределение оплаченных заявок по организационно-правовым формам получателей в Казахстане в 2021 году, % /

Fig. 2. Distribution of paid applications by legal forms of recipients in Kazakhstan in 2021, %

Источник: рассчитано автором на основе материалов Цифровой платформы для бизнеса «Колдау»⁸ / Source: calculated by the author based on the materials of the Digital Platform for Business "Qoldau".

Крупнейшие хозяйства – получатели субсидий не вносят большого вклада в общеотраслевую валовую прибыль, зато привносят существенную долю в общий объем налоговых поступлений в Казахстане (табл. 1). В целом аграрный сектор России имеет обратную тенденцию. Сельское хозяйство не вносит существенного вклада в пополнение бюджета даже в сельскохозяйственных регионах России [3].

Коэффициенты концентрации, характеризующие степень неравномерности распределения субсидий между хозяйствами, невысоки в Казахстане. Если рассматривать их изменение для 30 крупнейших хозяйств – бенефициаров, то за 2018-2021 годы они не превышали 0,10, а для 150 – не превосходили 0,21 (табл. 2). В 2021 году тройка состояла из ТОО «Масло-Дел» (0,84 % от общего объема субсидирования сельского хозяйства страны), ТОО «Тұқым» (0,55 %) и ТОО «Журавлевка-1» (0,43 %).

В 2021 году 30 и 150 крупнейших получателей субсидий имели более чем в 2 раза

больше субсидий по объему, чем принесли прибыли. Вклад 30 крупнейших хозяйств-получателей субсидий в налоговые поступления от сельского хозяйства в 2018-2021 годах высок: индексы равномерности колеблются от 0,56 до 1,79. Ситуация по 150 крупнейшим получателям субсидий незначительно отличается (табл. 2). Индексы равномерности распределения субсидий на основе прибыли и налоговых поступлений характеризуются тенденцией к снижению в 2018-2021 годах. Это вызвано уменьшением доли 30 и 150 крупнейших получателей субсидий в валовой прибыли и налоговых поступлениях, причем на фоне роста этих показателей на общеотраслевом уровне. Лишь 2020 год выделяется скачком индексов равномерности, обусловленным увеличением валовой прибыли 150 крупнейших хозяйств – получателей субсидий в 2,1 раза и объема оплаченных налогов – в 1,3 раза, в сравнении с предыдущим годом.

⁸Цифровая платформа для бизнеса «Колдау». Электронный реестр заявок на субсидирование агропромышленного комплекса «Subsidies». Раздел «Аналитика». [Электронный ресурс]. URL: <https://subsidies.goldau.kz/ru/subsidies/analytic/> (дата обращения: 03.08.2022)

Таблица 1 – Доля крупнейших хозяйств-получателей субсидий в налоговых поступлениях и валовой прибыли в сельском хозяйстве Казахстана в 2018-2021 гг. (n = 30 и n = 150) /
Table 1 – Share of the largest subsidy recipient farms in tax revenues and gross profit in agriculture of Kazakhstan in 2018-2021 (n = 30 and n = 150) /

Год / Year	Начисленный корпоративный подходный налог для n хозяйств, млн руб. / Accrued corporate income tax for n farms, million rubles	Общий объем налогов, оплаченных n хозяйствами, млн руб. / Total volume of taxes paid by n farms, million rubles	Доля n хозяйств в общих оплаченных налогах, % / Share of n farms in total taxes paid, %	Налогооблагаемая прибыль n хозяйств, млн руб. * / Taxable income of n farms, million rubles	Валовая прибыль в сельском хозяйстве Казахстана, млн руб. / Gross profit in the agricultural sector of Kazakhstan, million rubles	Доля n хозяйств в общей валовой прибыли, % / Share of n farms in total gross profit, %
n = 30 хозяйств / n = 30 farms						
2018	167,0	453,8	4,3	2 784,1	78 515,8	3,5
2019	287,8	1 699,5	15,3	4 796,0	87 937,4	5,5
2020	460,3	1 913,1	14,3	7 672,0	116 034,3	6,6
2021	227,0	701,4	4,4	3 783,1	134 011,0	2,8
Итого / Total	1 142,1	4 767,8	-	19 035,2	416 498,5	-
n = 150 хозяйств / n = 150 farms						
2018	430,7	1 152,0	10,9	7 178,3	78 515,8	9,1
2019	699,8	3 371,9	30,3	11 663,7	87 937,4	13,3
2020	1 508,2	4 630,2	34,7	25 136,5	116 034,3	21,7
2021	688,9	1 836,1	11,6	11 482,0	134 011,0	8,6
Итого / Total	3 327,6	10 990,2	-	55 460,5	416 498,5	-

Источник: рассчитано автором на основе материалов^{9,10} / Source: calculated by the author on the basis of materials.

* Налогооблагаемая прибыль 30 хозяйств рассчитывалась по формуле: $TaxPR = \frac{ACIT/0,3}{0,2}$, где ACIT – начисленный корпоративный подоходный налог (КПН); делители 0,2 и 0,3 взяты исходя из того, что согласно налоговому законодательству Казахстана, ставка КПН по общеустановленному режиму составляет 20%, а сельскохозяйственные производители могут платить 30% от суммы КПН. Понятно, что у производителей есть различия в применяемых режимах налогообложения, но в силу отсутствия информации о прибылях фирм, мы делаем допущение, что всем 30 и 150 производителям предоставляется 70%-ная скидка на уплату КПН /

* Taxable income of 30 farms was calculated by the formula: $TaxPR = \frac{ACIT/0,3}{0,2}$, where ACIT is accrued corporate income tax (CIT); dividers 0.2 and 0.3 are taken on the assumption that according to the tax legislation of Kazakhstan, the rate of CIT under the general regime is 20%, and agricultural producers can pay 30% of the CIT amount. It is clear that there are differences in the taxation regimes used by the producers, but due to the lack of information about the firms' profits, we assume that all 30 and 150 producers are given a 70% discount to pay CIT.

⁹Цифровая платформа для бизнеса «Колдау». Электронный реестр заявок на субсидирование агропромышленного комплекса «Subsidies». Раздел «Получатели субсидий». [Электронный ресурс]. URL: <https://subsidies.qoldau.kz/ru/subsidies/recipients> (дата обращения: 02.08.2022).

¹⁰Сайт СПАРК-Интерфакс. [Электронный ресурс]. URL: <https://spark-interfax.ru/> (дата обращения: 02.08.2022).

Таблица 2 – Коэффициенты концентрации (CR) в сфере субсидирования сельского хозяйства Казахстана для 30 и 150 крупнейших хозяйств – получателей субсидий в 2018–2021 гг., доли единицы / Table 2 – Concentration Ratios (CR) in agricultural subsidies of Kazakhstan for the 30 and 150 largest farms – recipients of subsidies in 2018–2021, fractions of one

<i>Показатель / Indicator</i>	<i>2018 г.</i>	<i>2019 г.</i>	<i>2020 г.</i>	<i>2021 г.</i>
Коэффициент концентрации для 30 крупнейших получателей субсидий – CR ₃₀ / Concentration Ratio for the 30 largest subsidy recipients – CR ₃₀	0,04	0,10	0,08	0,08
Коэффициент концентрации для 150 крупнейших получателей субсидий – CR ₁₅₀ / Concentration Ratio for the 150 largest subsidy recipients – CR ₁₅₀	0,10	0,21	0,18	0,19
Индекс равномерности распределения субсидий на основе прибыли 30 крупнейших получателей субсидий – IPR ₃₀ / Equal Distribution of Subsidies Index based on the profits of the 30 largest subsidy recipients – IPR ₃₀	0,89	0,55	0,83	0,35
Индекс равномерности распределения субсидий на основе прибыли 150 крупнейших получателей субсидий – IPR ₁₅₀ / Equal Distribution of Subsidies Index based on the profits of the 150 largest subsidy recipients – IPR ₁₅₀	0,91	0,63	1,20	0,45
Индекс равномерности распределения субсидий на основе общих оплаченных налогов 30 крупнейших получателей субсидий – IPT ₃₀ / Equal Distribution of Subsidies Index based on total taxes paid by the 30 largest subsidy recipients – IPT ₃₀	1,07	1,53	1,79	0,56
Индекс равномерности распределения субсидий на основе общих оплаченных налогов 150 крупнейших получателей субсидий – IPT ₁₅₀ / Equal Distribution of Subsidies Index based on total taxes paid by the 150 largest subsidy recipients – IPT ₁₅₀	1,09	1,44	1,93	0,61

Источник: рассчитано автором на основе материалов^{11, 12} / Source: calculated by the author on the basis of materials

Зачастую первичен не вопрос, необходимо ли поддерживать сельскохозяйственное производство и каким формам хозяйствования отдавать предпочтение в поддержке, а решение проблемы определения целей субсидирования (что нужно получить) и оценки эффективности выделения субсидий (как ее измерить). Для поддержания высокого спроса на инновации государство должно обеспечивать интенсивную конкурентную среду в сельском хозяйстве. И здесь необходимо, чтобы субсидии не нарушали ее предоставлением бюджетных средств неэффективным производителям. Под эффективностью производства мы понимаем степень достижения производителем не валовых (объема выпуска, поголовья животных, посевных площадей, как в существующей практике Министерства сельского хозяйства), а удельных показателей (производительности факторов

производства, продуктивности животных, урожайности), обеспечиваемых за счет применения инновационных и экологически безопасных технологий. В случае успеха инновации становятся фактором увеличения прибыли производителя. В этой связи инновационно активные субъекты в долгосрочном аспекте будут вносить больший вклад в общеотраслевую валовую прибыль. Экологически безопасные технологии необходимы для сохранения окружающей среды и почв, служащих источником для стабильно высокой урожайности растений и продуктивности животных в долгосрочном аспекте. Экологически безопасные технологии подразумевают отказ от применения ресурсов, дающих краткосрочные результаты (в частности, химические средства защиты растений; избыток воды и минеральных удобрений¹³) в пользу

¹¹Цифровая платформа для бизнеса «Колдау». Электронный реестр заявок на субсидирование агропромышленного комплекса «Subsidies». Раздел «Получатели субсидий». [Электронный ресурс]. URL: <https://subsidies.qoldau.kz/ru/subsidies/recipients> (дата обращения: 01.08.2022)

¹²Пояснительные записки к отчетам Правительства Республики Казахстан об исполнении республиканского бюджета. [Электронный ресурс]. URL: http://www.minfin.gov.kz/irj/portal/anonymous?NavigationTarget=ROLES://portal/content/mf/kz.ecc.roles/kz.ecc.anonymous/kz.ecc.anonymous/kz.ecc.anonym_budgeting/budgeting/reports_fldr/yearly_reports (дата обращения: 01.08.2022)

¹³Нерациональный подход к оршению земель приводит к засолению, переуплотнению почвы. Избыточное внесение минеральных удобрений ведет к загрязнению почвы. Такие практики, как правило, выступая источником роста урожайности в краткосрочном периоде, чреватые ее падением в долгосрочном (более того, с вынужденным выводом деградированных земель из оборота).

средств и технологий, не оказывающих вреда окружающей среде. Неэффективные и слабые производители не должны иметь преимуществ и льгот для получения субсидий. Государству следует придерживаться проактивной политики поддержки сельскохозяйственных производителей. Выбор указанных критериев субсидирования объясняется серьезным отставанием Казахстана от развитых стран по удельным показателям развития сельского хозяйства. Этот разрыв обусловлен прежде всего кадровым и технологическим факторами. Субсидии должны стать стимулом к внедрению инновационных и экологически безопасных технологий, чтобы за счет их применения преодолеть отсталость аграрного сектора

Конкурентоспособность базируется на обеспечении конкурентной среды, причем как внутри страны, так и на международной арене. Если аграрии будут действовать в условиях конкуренции, в рамках которой вознаграждаются результаты труда, становятся востребованными их инновации, технологии, то аграрный сектор может повышать свою конкурентоспособность. Именно поэтому предлагается обращаться к проактивной политике поддержки.

Субсидирование должно способствовать развитию сельского хозяйства путем финансового поощрения тех производителей, которые внедряют инновационные и экологически безопасные технологии, показывают высокие показатели производительности факторов, урожайности, продуктивности животных. Статья ставит акцент на развитии аграрного сектора в долгосрочном аспекте, поэтому важно сохранять потенциал окружающей среды (прежде всего почв) в обеспечении высокой урожайности растений и продуктивности животных. За счет этих высоких показателей будет обеспечиваться высокая эффективность производства, и, следовательно, высокая прибыль субъектов АПК. И здесь не имеет значения, к какой форме хозяйствования – малой или крупной – принадлежит производитель. Статус малой формы хозяйствования не должен отменять требований соответствия критериям эффективности производства. Такой подход к субсидированию ориентирован на достижение долгосрочных целей аграрного сектора, содействуя его технологической модернизации, минимизации ущерба окружающей среде.

Заключение. Оценка адекватности субсидирования производителей по их вкладу в общепромышленную валовую прибыль и налоговые поступления позволяет выявлять экономическую отдачу от субсидий. В Казахстане более равномерное, чем в России, распределение бюджетной поддержки по категориям получателей. В Казахстане при невысоком коэффициенте концентрации в распределении субсидий, они сосредотачиваются в руках производителей, не вносящих большого вклада в общую валовую прибыль в сельском хозяйстве. Так, в 2021 году 30 крупнейших субъектов АПК – получателей субсидий, имея 8,0 % от общего объема субсидирования, дали 4,4 % от налоговых поступлений и 2,8 % от валовой прибыли в сельском хозяйстве Казахстана. В 2021 году на 150 крупнейших субъектов АПК – получателей субсидий приходилось 19,1 % от общего объема субсидирования, при том они выплатили 11,6 % от налоговых поступлений, что составило 8,6 % от валовой прибыли. Следовательно, можно смещать акцент поддержки в пользу производителей, добивающихся высоких результатов в сельском хозяйстве (демонстрирующих высокую продуктивность), а не поддерживать заведомо неэффективных субъектов.

Уровень концентрации субсидий в Казахстане низкий, их перекоса в пользу крупных производителей не наблюдается. Однако негативная черта в распределении субсидий – сосредоточение субсидий у неэффективных производителей, что препятствует технологической модернизации сельского хозяйства в Казахстане. Так, для индексов равномерности распределения субсидий на основе прибыли и налоговых поступлений характерна тенденция к снижению в 2018-2021 годах. Это объясняется уменьшением вклада крупнейших получателей субсидий в общепромышленную валовую прибыль и налоговые поступления, хотя от поддержки изначально ожидается обратный эффект. Важно продолжить обеспечивать прозрачную схему выдачи субсидий, равный доступ к ним с учетом соблюдения требований эффективного производства. Поддержка неэффективных хозяйств чревата сохранением инерционных тенденций среди производителей, когда создаются стимулы к продолжению использования старых технологий.

Список литературы

1. Маслова В. В., Авдеев М. В. Конкурентоспособность продукции АПК России в условиях инновационного развития. Научные труды Вольного экономического общества России. 2019;219(5):104-119. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41235379> EDN: RPREPZ
2. Шик О. В., Янбых Р. Г., Серова Е. В. Исследование системы бюджетной поддержки аграрного сектора в России. Вопросы государственного и муниципального управления. 2020;(2):145-167. EDN: TAUBZO
3. Узун В. Я., Гатаулина Е. А., Муратова Л. Г. Эффективность использования региональных аграрных бюджетов. М.: ВИАПИ имени А. А. Никонова: ЭРД, 2011. 161 с.
4. Петриков А. В. Основные направления реализации современной агропродовольственной и сельской политики. Международный сельскохозяйственный журнал. 2016;(1):3-9. EDN: VLJQVV
5. Овчинников О. Г. Ситуация в агропродовольственном секторе России: успехи или кризис? Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2018;(3):7-12. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32739190> EDN: NUF PUB
6. Старкова О. Я. Развитие малых форм хозяйствования в сельском хозяйстве. Аграрный вестник Урала. 2021;(7(210)):93-100. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-210-07-93-100> EDN: FTDFMT
7. Гатаулина Е. А., Янбых Р. Г. Кредитование сельского хозяйства: современные вызовы и пути их решения. Экономические науки. 2011;(3(76)):315-318. EDN: OYUBWX
8. Буздалов И. Н. Научные основы и современная стратегия аграрной политики в России. АПК: экономика, управление. 2016;(3):8-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25726655> EDN: VQZJVH
9. Пашина Л. Л., Реймер В. В., Зияйдинов У. Ю. Малые формы хозяйствования в аграрном секторе Амурской области: анализ развития. Международный сельскохозяйственный журнал. 2021;(4(382)):31-36. DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-31-36> EDN: IQXCAK
10. Бородин К. Концепция развития агропродовольственного сектора. Экономист. 2016;(1):58-66. EDN: YNUJUT
11. Petrick M., Götz L. The expansion of dairy herds in Russia and Kazakhstan after the import ban on Western food products: Vortrag anlässlich der 57. Jahrestagung der GEWISOLA (Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.) und der 27. Jahrestagung der ÖGA (Österreichische Gesellschaft für Agrarökonomie) „Agrar- und Ernährungswirtschaft zwischen Ressourceneffizienz und gesellschaftlichen Erwartungen“. Weihenstephan, 2017. 12 p. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.261996>
12. Petrick M., Götz L. Herd growth, farm organisation and subsidies in the dairy sector of Russia and Kazakhstan. Journal of Agricultural Economics. 2019;70(3):789-811. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12318>
13. Узун В. Я. Ограничение размера субсидий одному сельхозпроизводителю: необходимость, механизмы, последствия. АПК: экономика, управление. 2017;(11):12-31. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30671385> EDN: ZVSSN
14. Ушачев И. Г. Стратегические направления устойчивого развития агропромышленного комплекса России. АПК: экономика, управление. 2016;(11):4-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27238439> EDN: WYBNMR
15. Светлов Н. М., Янбых Р. Г., Логинова Д. А. О неоднородности эффектов господдержки сельского хозяйства. Вопросы экономики. 2019;(4):59-73. DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-59-73> EDN: SJONPB
16. Пашинский В. Н., Ковальчук Ю. К., Летунов С. Б., Пермяков Е. Г. Ленинградская модель 20 лет спустя: теория и практика импортозамещения. Известия Дальневосточного федерального университета. Экономика и управление. 2016;(1):87-99. DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.54931> EDN: WAXLDZ
17. Мазлоев В. З., Кцоев А. Б. Построение оптимальной системы распределения субсидий в сельском хозяйстве. Экономика сельского хозяйства России. 2014;(2):35-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21562112> EDN: SDVVDZ
18. Кцоев А. Б. Альтернативная оценка эффективности государственного субсидирования сельского хозяйства Уральского федерального округа. Аграрный вестник Урала. 2011;(3(82)):103-105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17839082> EDN: PAJRTJ
19. Shik O. V. Public expenditure for agricultural sector in Russia: Does it promote growth? Russian Journal of Economics. 2020;6(1):42-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42606402> EDN: TOJHSK

References

1. Maslova V. V., Avdeev M. V. The competitiveness of russian agriculture in the conditions of innovative development. *Nauchnye trudy Vol'nogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii* = Scientific Works of the Free Economic Society of Russia. 2019;219(5):104-119. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41235379>
2. Shik O. V., Yanbykh R. G., Serova E. V. Review of the budget support system for the agricultural sector in Russia. *Voprosy gosudarstvennogo i munitsipal'nogo upravleniya* = Public Administration Issues. 2020;(2):145-167. (In Russ.)

3. Uzun V. Ya., Gataulina E. A., Muratova L. G. Efficiency of the use of regional agricultural budgets. Moscow: *VIAPI imeni A. A. Nikonova: ERD*, 2011. 161 p.
4. Petrikov A. V. The main directions of implementation of modern agri-food and rural policy. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2016;(1):3-9. (In Russ.)
5. Ovchinnikov O. G. The situation in the agro-food sector of Russia: success or crisis? *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* = Economy of agricultural and processing enterprises. 2018;(3):7-12. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32739190>
6. Starkova O. Ya. Development of small forms in agriculture. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2021;(7(210)):93-100. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2021-210-07-93-100>
7. Gataulina E. A., Yanbykh R. G. Kreditovanie sel'skogo khozyaystva: sovremennye vyzovy i puti ikh resheniya. *Ekonomicheskie nauki* = Economic sciences. 2011;(3(76)):315-318. (In Russ.)
8. Buzdalov I. N. Scientific foundations and modern strategy of agrarian policy in Russia. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2016;(3):8-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25726655>
9. Pashina L. L., Reymer V. V., Ziyaydinov U. Yu. Small forms of economic in the agrarian sector of the Amur region: development analysis. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2021;(4(382)):31-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2587-6740-2021-4-31-36>
10. Borodin K. Agri-food sector development concept. *Ekonomist*. 2016;(1):58-66. (In Russ.)
11. Petrick M., Götz L. The expansion of dairy herds in Russia and Kazakhstan after the import ban on Western food products: Vortrag anlässlich der 57. Jahrestagung der GEWISOLA (Gesellschaft für Wirtschafts- und Sozialwissenschaften des Landbaues e.V.) und der 27. Jahrestagung der ÖGA (Österreichische Gesellschaft für Agrarökonomie) „Agrar- und Ernährungswirtschaft zwischen Ressourceneffizienz und gesellschaftlichen Erwartungen“. Weihenstephan, 2017. 12 p. DOI: <https://doi.org/10.22004/ag.econ.261996>
12. Petrick M., Götz L. Herd growth, farm organisation and subsidies in the dairy sector of Russia and Kazakhstan. *Journal of Agricultural Economics*. 2019;70(3):789-811. DOI: <https://doi.org/10.1111/1477-9552.12318>
13. Uzun V. Ya. Restriction of the size of subsidies to one agricultural producer: need, mechanisms, consequences. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2017;(11):12-31. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30671385>
14. Ushachev I. G. Strategic directions of sustainable development of the agro-industrial complex of Russia. *APK: ekonomika, upravlenie*. 2016;(11):4-15. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27238439>
15. Svetlov N. M., Yanbykh R. G., Loginova D. A. On the diversity of the effects of the state support for agriculture. *Voprosy Ekonomiki*. 2019;(4):59-73. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32609/0042-8736-2019-4-59-73>
16. Pashinskiy V. N., Kovalchuk Yu. K., Letunov S. B., Permyakov E. G. Leningrad model 20 years later: theory and practice of import substitution. *Izvestiya Dal'nevostochnogo federal'nogo universiteta. Ekonomika i upravlenie* = The bulletin of the Far Eastern Federal University. Economics and Management. 2016;(1):87-99. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.5281/zenodo.54931>
17. Mazloev V. Z., Ktsoev A. B. Creation of optimum system of distribution subsidies in agriculture. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2014;(2):35-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21562112>
18. Ktsoev A. B. Alternative assessment of the effectiveness of state subsidies for agriculture of the ural federal district. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(3(82)):103-105. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17839082>
19. Shik O. V. Public expenditure for agricultural sector in Russia: Does it promote growth? *Russian Journal of Economics*. 2020;6(1):42-55. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42606402>

Сведения об авторе

Сейтов Санат Каиргалиевич, аспирант 3 года обучения кафедры агроэкономики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Ленинские горы, д. 1, стр. 46, 3-й новый учебный корпус, г. Москва, Российская Федерация, 119991,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6505-1712>, e-mail: sanatpan@mail.ru

Information about the author

Sanat K. Seitov, 3-year postgraduate student, the Department of Agroeconomics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 1, building 46, 3rd New Academic Building, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6505-1712>, e-mail: sanatpan@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО
К 75-летию юбилею академика РАН
ВАСИЛИЯ АЛЕКСЕЕВИЧА СЫСУЕВА



**Сысуюв Василий Алексеевич – научный руководитель
Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого,
академик РАН, доктор технических наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ,
главный редактор журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока»**

Страницы биографии. Сысуюв Василий Алексеевич родился в 1948 году в д. Омеличи Котельничского района Кировской области. После окончания в 1972 г. факультета механизации Кировского сельскохозяйственного института работал инженером и главным инженером ордена Октябрьской революции колхоза «Искра» Котельничского района Кировской области. В 1976 г. поступил в очную аспирантуру Кировского СХИ, защитил кандидатскую диссертацию, работал ассистентом кафедры механизации животноводства. В 1984-1988 гг. – заместитель заведующего отделом сельского хозяйства и пищевой промышленности (по механизации) Кировского обкома КПСС.

С 1988 года и по настоящее время научно-организационная деятельность Василия Алексеевича связана с Зональным НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (ныне – Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, г. Киров): заведующий отделом механизации, заместитель директора по науке, директор (1990-2017 гг.). С 1996 по 2015 год Василий Алексеевич, уже будучи членом Россельхозакадемии, возглавлял Северо-Восточный региональный аграрный научный центр, осуществляющий координацию 13 научных организаций по научному обеспечению АПК 9 областей и республик Северо-Восточного региона европейской части России. Василий Алексеевич стал инициатором интегра-

ционного проекта по созданию Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого и с 2017 г. по настоящее время является научным руководителем объединенной организации.

Научная работа. Василий Алексеевич Сысуюв – авторитетный ученый в области механизации сельского хозяйства. С его приходом в Зональный НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого создан отдел механизации, усилена работа проектно-конструкторского бюро. Исследованиями В. А. Сысуюва внесен существенный вклад в развитие фундаментальных основ механизации животноводства и растениеводства: усовершенствованы методы теоретической механики в обоснованиях процессов работы сельскохозяйственной техники, а также методология разработки теории системы сельскохозяйственных машин; применен системный подход в исследованиях технологических линий, машин и оборудования для энергоресурсосбережения в животноводстве и растениеводстве.

В. А. Сысуювым совместно с коллегами и учениками осуществлен цикл исследований, направленный на разработку научных основ и новых ресурсосберегающих технологий и технических средств для приготовления и раздачки кормов в животноводстве, повышения продуктивности лугов и пастбищ, плющения с консервированием высоковлажного зерна, получения патоки из зерна озимой ржи и др.



Под руководством В. А. Сысуева разработаны на уровне лучших зарубежных аналогов энергосберегающие и высокоэффективные технологии и технические средства, эффективно функционирующие в 35 субъектах Российской Федерации (дернинные сеялки, измельчители грубых кормов, дробилки, плющилки зерна и другое оборудование).

Совместно с учеными института и Проектно-конструкторского бюро НИИСХ Северо-Востока В. А. Сысуев удостоен дипломов и медалей VII и VIII Российской агропромышленной выставки «Золотая осень» за разработку и создание комплекта оборудования по подготовке зерна к скармливанию скоту.

Василий Алексеевич – исследователь с широким кругозором. «Ученый от Бога» – так сказал о нем Александр Александрович Жученко, академик РАН и РАСХН, вице-президент Россельхозакадемии, труды которого по адаптивной селекции и растениеводству легли в основу развития ведущих научных направлений Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого. Особая заслуга Василия Алексеевича состоит в организации комплексных исследований по научному обеспечению адаптивной интенсификации АПК Северо-Восточного региона европейской части России.

Под руководством В. А. Сысуева разработаны методы повышения агробиоэнергетической эффективности растениеводства, осуществляются исследования, направленные на обеспечение устойчивого производства и многофункционального использования озимой ржи. Благодаря усилиям В. А. Сысуева в продвижении этого направления исследований Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Руд-

ницкого включен в состав Консорциума «Здоровье, сбережение, питание, демография» – объединения науки, отраслевых союзов и предприятий пищевой индустрии. Василий Алексеевич неоднократно подчеркивал необходимость разработки и реализации Национальной программы «Рожь России», которая направлена «...на спасение главной зерновой культуры Руси и способна связать воедино вопросы расширения селекции, семеноводства, производства, глубокой переработки зерна, увеличение потребления ржаного хлеба из цельнозерновой муки на заквасках в целях сохранения здоровья и продолжительности жизни человека».

Василий Алексеевич ежегодно участвует в Жученковских чтениях, отдавая дань памяти А. А. Жученко (1935-2013 гг.), которого считает одним из великих учителей-наставников в науке.

Академик В. А. Сысуев – автор свыше 550 научных публикаций, в том числе 50 монографий и рекомендаций, более 100 авторских свидетельств и патентов РФ на изобретения. За рубежом (Польша, Китай, Чехия, Болгария, Бельгия, Турция, Египет, Венгрия, Беларусь, Украина) издано 80 научных трудов.

В. А. Сысуеву присвоено Почетное звание «Заслуженный деятель науки РФ», он является лауреатом Премии Кировской области по науке и сельскому хозяйству, а также Почетным гражданином Котельничского района Кировской области. Награжден почетными грамотами Россельхозакадемии, Российской академии наук, Совета Федерации Федерального Собрания Российской Федерации.

Особое значение Василий Алексеевич придает подготовке молодых ученых. В руководимом им институте была организована аспирантура по нескольким специальностям – одна из самых эффективных в системе Россельхозакадемии. Под руководством и при консультировании В. А. Сысуева защищено 3 докторских и 14 кандидатских диссертаций. В настоящее время В. А. Сысуев руководит работой совета 24.1.220.01 по защите докторских и кандидатских диссертаций по научной специальности 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

Василий Алексеевич является основателем и бессменным главным редактором высокорейтингового научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» (учредитель – ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока). Входит в состав редакционных советов известных российских научных журналов «Достижения науки и техники АПК», «Теоретическая и прикладная экология», «Сельский механизатор», «Вестник НГИЭИ» и «Вестник Казанского государственного аграрного университета», является членом редакционного коми-

тета научного издания Цзилиньского аграрного университета (Китай).

Академическая деятельность. Сысуев В. А. с момента избрания (1995 г. – член-корреспондент РАСХН, 2001 г. – академик РАСХН, 2013 г. – академик РАН) ведет активную академическую деятельность. На протяжении нескольких лет входил в состав Президиума Россельхозакадемии. Является экспертом РАН и РНФ, членом Отделения сельскохозяйственных наук РАН, секции «Организация научных исследований в АПК» Научно-технического совета Министерства сельского хозяйства Российской Федерации, Межведомственного координационного совета РАН по исследованиям в области агропромышленного производства и комплексного развития сельских территорий. В качестве члена рабочей группы участвовал в подготовке рекомендаций «Неотложные меры развития агропромышленного комплекса и сельских территорий в Нечерноземной зоне России до 2030 года». Возглавляет экспертную комиссию РАН по присуждению Премии имени Н. В. Рудницкого за выдающиеся работы в области селекции и технологий возделывания сельскохозяйственных культур в условиях северного земледелия.

Как настоящий патриот и истинный ученый-академик на протяжении всей научно-организационной деятельности Василий Алексеевич находит в себе силы, смелость, мужество и стойкость в бескомпромиссной борьбе с происходящими негативными явлениями в науке вследствие проводимых реформ. Имея своё, абсолютно оформленное мнение, Василий Алексеевич часто принимает удар на себя. Это было и ранее, когда он реализовывал совершенно уникальные инициативы – создание Северо-Восточного научно-методического центра Россельхозакадемии, открытие аспирантуры и учреждение научного журнала, формирование совершенно новых исследовательских направлений, научных школ и лабораторий. На разных уровнях административного аппарата Василий Алексеевич отстаивает законные интересы не только научных учреждений региона, но и аграрной науки России в целом.

Академик РАН В. А. Сысуев убежден, что необходимыми мерами для сохранения и развития науки являются: передача управления институтами Российской академии наук; восстановление советской системы научной аспирантуры; возвращение науки в сектор реальной экономики, отказ от оценки эффективности научной деятельности по публикационным показателям; ограничение доли грантового финансирования; смена кадровой политики – выдвижение на руководящие посты специалистов, имеющих сози-

дательный опыт работы. «Брать пример по поддержке науки нужно с Китая, а не с коллективного Запада, который пытается уничтожить Россию» – считает Василий Алексеевич.

Четверть века с Китаем. Василию Алексеевичу принадлежит определяющая роль в организации российско-китайского научного сотрудничества, которое активно развивается в ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока более 25 лет по различным направлениям аграрной науки. Василий Алексеевич является с российской стороны руководителем нескольких успешных китайско-российских научно-инновационных проектов, связанных, в том числе с изучением и сохранением грибных ресурсов России и Китая, производством и переработкой озимой ржи в Китае.

Научный авторитет и кругозор Василия Алексеевича, его целеустремленность и обязательность стали основой многолетнего российско-китайского научного сотрудничества и оценены правительственными наградами Китая. Василий Алексеевич удостоен званий «Почетный президент Байченской академии сельскохозяйственных наук» и «Иностранный президент НИИ сельскохозяйственной механики Провинции Цзилинь». В знак признания выдающегося вклада в развитие Провинции Цзилинь В. А. Сысуеву вручен Кубок Дружбы от Правительства Провинции, а в 2021 году он удостоен высшей награды Правительства Китая для зарубежных специалистов – Премии Дружбы.

Открывая церемонию награждения, проректор Цзилиньского аграрного университета Лю Цзиншэн отметил, что среди всех иностранных ученых из 93 организаций 23 стран, с которыми сотрудничает университет, Василий Сысуев обеспечивает самое эффективное взаимодействие по многим научным направлениям.



Награду вручал академик Китайской инженерной академии, иностранный академик РАН, главный миколог Китая Ли Юй. Он расска-

зал о незабываемом личном впечатлении от сотрудничества и общения с В. А. Сысуевым и учеными-микологами ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в ходе китайско-российской экспедиции по сбору микологического материала. Ли Юй определил приоритетным направлением исследований в области микологии глубокую переработку лекарственных грибов с организацией в России совместного производства. Выразил заинтересованность в организации экспедиций по сбору и изучению лекарственных грибов северных регионов России. Директор Центра инженерных исследований пищевых и лекарственных бактерий Министерства образования Ли Чантянь призвал к совместной работе по получению грантов, в том числе на приборное обеспечение, обозначил существующую проблему по механизации процесса сбора пищевых грибов.

Василий Алексеевич в свой недавний визит впервые посетил Провинцию Чжэцзян КНР, где представители Департамента науки особый интерес проявили к развитию сотрудничества по механизации сельского хозяйства. Платформа сотрудничества – около 500 небольших компаний по производству сельскохозяйственной техники в г. Тайчжоу. Академик В. А. Сысуев посетил пять предприятий по изготовлению зерноуборочных комбайнов, тракторов, рабочих органов и оборудования для личных хозяйств, генераторов, мочных машин, запасных частей. Обозначены проблемы выпускаемой техники, предложены варианты сотрудничества, вплоть до организации Китайско-Российского инновационного центра научно-технического сотрудничества для повышения научно-исследовательского уровня разработок и их инновационной составляющей.

Человеческие взаимоотношения.

Штрихи к портрету

«Василий Алексеевич – лидер с «человеческим лицом». В основе его успеха во многих сферах деятельности – дар общения, неподдельный интерес к каждому человеку. Его характеризует непреходящая увлеченность делом, людьми, идеями; способность принимать решения, брать за них ответственность и признавать свои ошибки. Если он доверяет человеку, он никогда его не бросит в беде, не поверит оговорам, защитит, примет удар на себя. Как бы непросто складывались отношения с коллегами, он не позволяет себе кого-либо унижить, ущемить в правах. Под-

держка молодых ученых наряду с ветеранами науки – это тоже его кредо. А как он относится к своим учителям! Это дорогого стоит!»

«Василий Алексеевич – боец, негибаемый и справедливый, и время это подтвердило. Мы очень благодарны ему и его команде. Это была для всех большая школа. Его бескорыстие, доброта, теплота и сердечность – с нами навсегда. Он такой единственный и неповторимый».

«Последователен в своей гражданской позиции, борется до последнего шанса на успех. Очевидно поэтому смог сплотить вокруг себя директоров научных учреждений региона, каждый из которых – личность».

«Рядом с нами работает замечательный и чуткий человек, преданный своему родному краю, испытывающий искреннее уважение к коллегам и любовь к близким, способный разрешить самые трудные жизненные ситуации, вовремя помочь окружающим словом и делом».

«Сегодня судьба по разным причинам разлучила многих из нас. Приходится довольствоваться лишь воспоминаниями о старых добрых временах, о нашей бескорыстной дружбе, сотрудничестве и просто о прекрасных наших человеческих взаимоотношениях. И я с уверенностью могу сказать, что годы работы в Центре под руководством Василия Алексеевича для меня навсегда останутся незабываемыми и самыми лучшими за период моей жизни и трудовой деятельности. Роль и ценность такого сотрудничества и уважительных человеческих отношений сегодня особенно возросла на фоне происходящих изменений при реформировании российской науки. В сложившейся ситуации об этом можно лишь мечтать».

«Открытый и честный, всегда с хорошим настроением и позитивным настроем!».

«Василий Алексеевич – совершенно неординарный, абсолютно непредсказуемый (в хорошем смысле этого слова), справедливый и чуткий человек. Отличительная черта Василия Алексеевича – вера в людей. Будучи руководителем института, он не только давал шанс молодым сотрудникам, но и строго спрашивал, оценивал. Та школа, которую я прошел под его руководством – бесценна. Без преувеличения: Василий Алексеевич – мой главный Учитель в жизни».

*Поздравляя Василия Алексеевича с 75-летним юбилеем,
благодарим за преданность науке, неустанные усилия по сохранению научных коллективов,
веру в друзей и соратников. Желаем безупречного здоровья, позитивного настроения,
счастья общения с близкими по духу людьми!
Созидайте и вдохновляйте!*

ПАМЯТИ УЧЕНОГО
ПЯТИН АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ



8 января 2023 года ушел из жизни Александр Михайлович Пятин, известный ученый в области луговодства и луговедения.

Александр Михайлович родился 22 июля 1935 г. в деревне Фадеенки Котельничского района Кировской области.

Трудовую деятельность начал токарем на заводах военно-промышленного комплекса г. Кирова. После окончания Кировского сельскохозяйственного института работал младшим научным сотрудником на Кировской областной сельскохозяйственной опытной станции в Проснице Кирово-Чепецкого района.

В 1969 г. окончил очную аспирантуру ВИК имени В. Р. Вильямса у знаменитого луговеда Т. А. Работнова. Решением совета биологического факультета МГУ имени М. В. Ломоносова А. М. Пятину была присвоена степень кандидата биологических наук.

С 1969 по 1972 год Александр Михайлович работал на опорном пункте ВНИИ кормов в г. Муром. В 1973 году А. М. Пятин перевели на Фалёнскую селекционную станцию и вскоре

назначили директором. С 1978 по 1987 год работал зам. директора НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого, по 2001 г. – заведующим отделом луговодства.

Под руководством А. М. Пятин проведены разносторонние исследования по совершенствованию приемов поверхностного улучшения естественных пойменных сенокосов, разработаны улучшенные технологии ускоренного освоения разных типов мелиорируемых земель на основе использования сортов многолетних трав интенсивного типа и рациональной системы удобрения. Было проведено агрохозяйственное обследование естественных сенокосов и пастбищ Кировской области на площади 30 тыс. га.

Важное значение имели работы по улучшению естественных лугов путем прямого полосного подсева бобовых трав в дернину с помощью травяной фрезерной сеялки СДК-2,8. По результатам исследований изданы рекомендации «Технология и технические средства для полосного подсева семян трав в дернину» (Киров, 2000 г.).

Сам Александр Михайлович считал себя не только технологом-луговодом, но в первую очередь луговедом. Он доказательно знал более 500 видов различных травянистых растений. В научной работе его отличала скрупулёзность, желание в каждом вопросе «докопаться» до сути.

За многолетний добросовестный труд А. М. Пятин был награжден серебряной медалью ВДНХ и медалью «Ветеран труда».

Александр Михайлович обладал замечательными человеческими качествами, оптимизмом, доброжелательностью, искренностью, пользовался авторитетом у коллег.

**Коллектив ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока
выражает глубокое соболезнование родным и близким
Александра Михайловича Пятин.**

**Светлая память о яркой личности, авторитетном ученом
навсегда сохранится в наших сердцах.**

