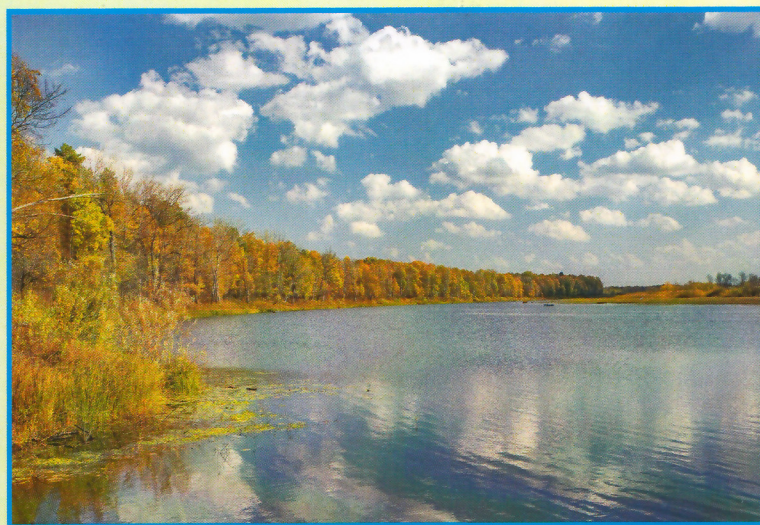


Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 26
№ 5
2025

Vol. 26
No. 5
2025

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Научный журнал основан в 2000 г.

Периодичность 6 раз в год Префикс DOI: 10.30766

Том 26, № 5, 2025

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

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

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



Главный редактор – Сысуев 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,
Наталия Аркадьевна Гарифуллина – ученый секретарь научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

**Андреев
Николай Руфеевич**

д.т.н., чл.-корр. РАН, научный руководитель Всероссийского научно-исследовательского института 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, главный специалист по коммуникациям и инновациям, главный научный сотрудник Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

**Дёгтева Светлана
Владимировна**

д.б.н., чл.-корр. РАН, директор ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия

**Джавадов
Эдуард Джавадович**

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

**Дидманидзе
Отари Назирович**

д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Россия

**Домский Игорь
Александрович**

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

**Еремин
Сергей Петрович**

д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акушерства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

**Иванов Дмитрий
Анатольевич**

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

**Казакевич
Пётр Петрович**

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

**Косолапов Владимир
Михайлович**

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

**Костяев Александр
Иванович**

д.э.н., профессор, академик РАН, главный научный сотрудник, руководитель отдела экономических и социальных проблем развития региональных АПК и сельских территорий Института аграрной экономики и развития сельских территорий – структурного подразделения 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 «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

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

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

Полные тексты статей
доступны на сайтах электронных
научных библиотек:
eLIBRARY.RU: <http://elibrary.ru/>;
ЭНЦХБ:

<http://www.cnsb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

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

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

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

www.agronauka-sv.ru

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

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова
Макет обложки
Н. Н. Соболева
Первое фото
на первой странице обложки
А. Широких,
на четвертой странице обложки
фото В. Малишевского.

Подписано к печати
30.10.2025

Дата выхода в свет
07.11.2025

Формат 60x84^{1/8}.

Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 29,06.

Тираж 100 экз. Заказ 32.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

Адрес типографии:

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

Савченко
Иван Васильевич

Самodelкин
Александр
Геннадьевич

Титова
Вера Ивановна

Токарев
Антон Николаевич

Урбан
Эрома Петрович

Широких
Ирина Геннадьевна

Щенникова
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlík András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей
Владимирович

Артёмьев Андрей
Александрович

Брандорф
Анна Зиновьевна

Бурков Александр
Иванович

Егошина Татьяна
Леонидовна

Ивановский
Александр
Александрович

Костенко Ольга
Владимировна

Рябова Ольга
Вениаминовна

Савельев
Александр
Павлович

Товстик Евгения
Владимировна

Филатов
Андрей Викторович

Шешегова
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла
Сибяттулович

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

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

д.с.-х.н., заслуженный деятель науки РФ, профессор, зав. кафедрой агрохимии
и агроэкологии ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехно-
логический университет», г. Нижний Новгород, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Редакционная коллегия

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

д.с.-х.н., доцент, ведущий научный сотрудник, директор Мордовского
НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

One can subscribe for the print edition of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» at the site of the Union catalogue «Press of Russia» www.pressa-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

The first photo is on the first page of the cover. A. Shirokikh, on the fourth page of the cover. V. Malishevsky.

Passed for printing
30.10.2025
Date of publication
07.11.2025

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. 1. 29.06.
Circulation 100 copies. Order 32.
Free price.

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

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

Editorial Board

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

СОДЕРЖАНИЕ

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

- Н. В. Шадрин, Е. В. Ануфриева, П. С. Остапчук, А. В. Празукин, Д. В. Зубоченко, Т. А. Кувёда**
Можно ли решить проблему дефицита йода в Крыму, используя зеленые макроводоросли *Cladophora* в животноводстве? (обзор)..... 945
- Т. Ю. Берелет, Е. А. Корочкина**
Оплодотворяющая способность сперматозоидов: факторы ее обуславливающие и методы определения (обзор)..... 963
- О. В. Шошина, Н. В. Соболева, Г. К. Дускаев, Е. В. Шейда, О. В. Кван**
Роль кормовых добавок в формировании продуктивности жвачных (обзор)..... 975

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

- Н. А. Набатова, Е. И. Уткина.**
Новый сорт озимой ржи Лика для северного земледелия..... 998
- О. Н. Шуплецова, И. Н. Щенникова, С. Н. Шевченко**
Влияние салициловой кислоты на продуктивные признаки регенерантных линий ячменя в условиях почвенных стрессов..... 1007
- А. Д. Степин, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина, Н. В. Романова**
Оценка сортов льна-долгунца по продуктивности и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России..... 1015
- В. Ю. Ступко, С. Ю. Луговцова, Н. С. Помыткин, К. В. Кукушкина, А. И. Черемисин**
Уровень освещенности как регулятор роста микрорастений картофеля *in vitro*..... 1026
- В. К. Сердеров, Б. М. Гусейнова**
Оценка продуктивного потенциала гибридного материала картофеля в различных агроклиматических условиях Дагестана..... 1038

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

- А. В. Ивенин, В. В. Ивенин, Л. К. Петров, С. М. Голубев**
Применение биопрепарата, микро- и макроминеральных удобрений в технологии возделывания сортов озимой мягкой пшеницы..... 1050
- Е. Н. Носкова, А. Ю. Софронова, Е. В. Светлакова**
Влияние приемов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность озимой пшеницы..... 1059
- Ю. Д. Смирнова, Н. В. Фомичева**
Эффективность кремнийсодержащих препаратов при выращивании картофеля..... 1069

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

- Б. С. Нуржанов, Ш. Г. Рахматуллин, Г. К. Дускаев**
Качество мяса цыплят-бройлеров при внесении в рацион растительных органических веществ..... 1077
- Н. А. Морозков, Е. В. Лепихина, И. Н. Жданова, Н. В. Авдеев, В. А. Ситников**
Кормовая фитодобавка из левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) и её использование в кормлении молодняка кур-несушек..... 1085

ЗООТЕХНИЯ

- Г. А. Лиходеевский, П. С. Богатова, О. Е. Лиходеевская**
Ограничения использования генеалогических линий голштинского скота в качестве генетического фактора..... 1098
- М. В. Левченко, Г. Г. Карликова, Г. К. Петрякова, И. А. Лашнева, А. А. Сермягин**
Выявление генов, ассоциированных с технологическими свойствами молока коров, с помощью GWA-анализа и геномной онтологии..... 1112

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

- М. А. Азямов**
Влияние рекомбинантного колицина E2 на некоторые гериатрические маркеры в крови лактирующих коров в возрасте 5-6 лет..... 1125

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ

- Б. Е. Зарубин, В. В. Колесников, А. В. Экономов, А. В. Козлова, В. В. Степанов, М. А. Перевозчикова, А. Ю. Просеков, Е. А. Вечтомова**
Ресурсы тетерева и их использование в Кировской области..... 1132

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

- В. В. Голембовский, А. А. Коровин, Н. В. Сергеева**
Технологическое решение по переработке свежего навоза и помета с характеристиками полученных продуктов..... 1142

ЭКОНОМИКА

- К. К. Кумехов, Р. О. Холбеков, Э. Н. Белозорова**
Оценка состояния и перспективы развития внутреннего рынка минеральных удобрений в России..... 1159

ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

- А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, С. Н. Петухов, А. Г. Пономарев**
Тракторный парк аграрного сектора Российской Федерации..... 1176

- ХРОНИКА. Юбилей Никифоровой Екатерины Васильевны**..... 1188

CONTENTS

REVIEWS

<i>Nickolai V. Shadrin, Elena V. Anufrieva, Pavel S. Ostapchuk, Alexander V. Prazukin, Denis V. Zubochenko, Tatyana A. Kuevda</i> Is it possible to solve the problem of iodine deficiency in Crimea using green macroalgae <i>Cladophora</i> in animal husbandry? (review).....	945
<i>Tatiana Y. Berelet, Elena A. Korochkina</i> Fertilizing ability of spermatozoa: its conditioning factors and methods of determination (review).....	963
<i>Oksana V. Shoshina, Natalia V. Soboleva, Galimzhan K. Duskaev, Elena V. Sheida, Olga V. Kwan</i> The role of feed additives in the formation of ruminant productivity (review).....	975

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

<i>Natalia A. Nabatova, Elena I. Utkina</i> New winter rye cultivar 'Lika' for northern agriculture.....	998
<i>Olga N. Shupletsova, Irina N. Shchennikova, Sergey N. Shevchenko</i> Effect of salicylic acid on productive traits of regenerated barley lines under soil stress.....	1007
<i>Alexander D. Stepin, Michail N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina, Nadezhda V. Romanova</i> Assessment of flax cultivars by productivity and adaptability in the conditions of the North-Western region of Russia.....	1015
<i>Valentina Yu. Stupko, Svetlana Yu. Lugovtsova, Nikolay S. Pomytkin, Kristina V. Kukushkina, Aleksandr I. Cheremisin</i> Illumination intensity as a growth regulator for potato microplants <i>in vitro</i>	1026
<i>Valerik K. Serderov, Batuch M. Guseynova</i> Assessment of the productive potential of the hybrid potato material in different agroclimatic conditions of Dagestan.....	1038

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

<i>Alexey V. Ivenin, Valentin V. Ivenin, Leonid K. Petrov, Sergey M. Golubev</i> Use of biological product, micro- and macromineral fertilizers in the technology of cultivation of winter wheat cultivars.....	1050
<i>Eugenia N. Noskova, Angelina Yu. Sofronova, Elena V. Svetlakova</i> Effect of tillage methods and mineral nutrition levels on winter wheat yield.....	1059
<i>Yulia D. Smirnova, Natalia V. Fomicheva</i> The effectiveness of silicon-containing preparations in potato growing.....	1069

FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<i>Baer S. Nurzhanov, Shamil G. Rakhmatullin, Galimzhan K. Duskaev</i> Meat quality of broiler chickens when adding plant organic substances into the diet.....	1077
<i>Nikolay A. Morozkov, Elena V. Lepikhina, Irina N. Zhdanova, Nikolay V. Avdeev, Vladimir A. Sitnikov</i> Feed phyto-additive from <i>Leucea safflower</i> (<i>Rhaponticum carthamoides</i>) and its use in young laying hens.....	1085

ZOOTECHNY

<i>Georgiy A. Lihodeevskiy, Polina S. Bogatova, Oksana E. Lihodeevskaya</i> Limitations on the use of genealogical lines in Holstein cattle as a genetic factor.....	1098
<i>Maria V. Levchenko, Galina G. Karlikova, Galina K. Petryakova, Irina A. Lashneva, Alexander A. Sermyagin</i> Identification of genes associated with technological properties of cow milk using GWA analysis and gene ontology.....	1112

VETERINARY MEDICINE

<i>Mikhail A. Aziamov</i> The effect of recombinant colicin E2 on some geriatric markers in the blood of lactating cows aged 5-6 years.....	1125
--	------

FUR FARMING AND HUNTING

<i>Boris E. Zarubin, Vyacheslav V. Kolesnikov, Aleksandr V. Ekonomov, Anna V. Kozlova, Valery V. Stepanov, Maria A. Perevozchikova, Aleksandr Yu. Prosekov, Elena A. Vechtomova</i> Black grouse resources and their use in the Kirov region, Russia.....	1132
--	------

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<i>Vladimir V. Golembovskii, Andrei A. Korovin, Natalia V. Sergeeva</i> Technological solution for processing fresh manure and droppings with characteristics of the obtained products.....	1142
--	------

ECONOMY ECONOMY

<i>Konstantin K. Kumekhov, Rasul O. Kholbekov, Elvira N. Belozorova</i> Assessment of the state and development prospects of the domestic market of mineral fertilizers in Russia.....	1159
---	------

DISCUSSION PAPERS

<i>Alexey S. Dorokhov, Alexey V. Sibirev, Sergey N. Petukhov, Andrey G. Ponomarev</i> Tractor fleet of the agricultural sector of the Russian Federation.....	1176
--	------

CHRONICLE. Jubilee E. V. Nikiforova.....	1188
---	------

ОБЗОРЫ/REVIEWS

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.945–962>
УДК 636:582.261/.279



Можно ли решить проблему дефицита йода в Крыму, используя зеленые макроводоросли *Cladophora* в животноводстве? (обзор)

© 2025. Н. В. Шадрин¹, Е. В. Ануфриева¹, П. С. Остапчук^{1, 2}✉,
А. В. Празукин¹, Д. В. Зубоченко², Т. А. Куевда^{1, 2}

¹ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Российская Федерация,

²ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Российская Федерация

От дефицита йода страдает около 68 % населения Земли, более 70 % территории России, включая Крым, относятся к йододефицитным территориям. Только лишь йодирование соли не решает данную проблему и имеет ряд негативных последствий. В обзоре рассмотрены факторы, ведущие к формированию дефицита йода в почвах и пресных водах. Показано, что аридность климата способствует формированию дефицита этого элемента в окружающей среде. В водах содержание йода положительно коррелирует с соленостью. Довольно давно в борьбе с дефицитом йода используются морские водоросли, особенно бурые. Однако для преодоления проблемы йододефицита целесообразнее в качестве удобрения, пищевых и кормовых добавок использовать зеленые макроводоросли из соленых и гиперсоленых вод, обладающие большим потенциалом. В гиперсоленых водоемах нитчатые водоросли *Cladophora* имеют высокие биомассу – 2,25 кг сух. массы/м² и продуктивность – до 1 кг (сух. массы)/м²/неделя, что на два порядка выше, чем у наземных растений и значительно больше, чем у бурых водорослей. Суммированы экспериментальные данные по использованию кормовой добавки из кладофоры (1 % от рациона) в кормлении кроликов, кур и других видов животных. Проведены расчеты, показывающие, что природных ресурсов зеленых нитчатых водорослей *Cladophora*, имеющих высокую продуктивность, вполне достаточно для решения проблемы йододефицита.

Ключевые слова: содержание йода, водоросли, кормовые добавки, рацион

Благодарности: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-66-00001, <https://rscf.ru/project/24-66-00001/>

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликтов интересов.

Для цитирования: Шадрин Н. В., Ануфриева Е. В., Остапчук П. С., Празукин А. В., Зубоченко Д. В., Куевда Т. А. Можно ли решить проблему дефицита йода в Крыму, используя зеленые макроводоросли *Cladophora* в животноводстве? (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):945–962. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.945–962>

Поступила: 06.03.2025

Принята к публикации: 16.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Is it possible to solve the problem of iodine deficiency in Crimea using green macroalgae *Cladophora* in animal husbandry? (review)

© 2025. Nickolai V. Shadrin¹, Elena V. Anufrieva¹, Pavel S. Ostapchuk^{1, 2}✉,
Alexander V. Prazukin¹, Denis V. Zubochenko², Tatyana A. Kuevda^{1, 2}

¹A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation,

²Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

Approximately 68 % of the world's population suffers from iodine deficiency, and more than 70 % of Russia's territory, including Crimea, is classified as an iodine-deficient area. Salt iodination only does not solve this problem and has a number of negative effects. The review examines factors that cause the development of iodine deficiency in soils and fresh water. It is shown that climate aridity contributes to the development of the element deficiency in the environment. In water, iodine content positively correlates with salinity. Seaweeds, especially brown algae, have long been used to combat iodine deficiency. However, to overcome the problem of iodine deficiency it is more suitable to use green macroalgae from saline and hypersaline waters, having great potential as fertilizers, food and fodder additives. In hypersaline water bodies filamentous algae *Cladophora* have a high content of biomass – 2.25 kg dry mass/m² and have great productivity – up to 1 kg (dry mass)/m²/week, which is two orders of magnitude higher than that of terrestrial plants and significantly more than that of brown algae. The experimental data on the use of a feed additive from *Cladophora* (1 % of the diet) in feeding rabbits, chickens, and other animals are summarized. Calculations are made showing that the natural resources of green filamentous algae *Cladophora*, which have enormous productivity, are quite sufficient to solve the problem of iodine deficiency.

Keywords: iodine content, seaweed, feed additives, ration

Acknowledgments: the study was supported by the Russian Science Foundation, grant № 24-66-00001, <https://rscf.ru/project/24-66-00001/>

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

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

For citations: Shadrin N. V., Anufrieva E. V., Ostapchuk P. S., Prazukin A. V., Zubochenko D. V., Kuevda T. A. Is it possible to solve the problem of iodine deficiency in Crimea using green macroalgae *Cladophora* in animal husbandry? Review. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):945–962. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.945-962>

Received: 06.03.2025

Accepted for publication: 16.09.2025

Published online: 31.10.2025

Дефицит йода наиболее распространен на планете, по сравнению с другими эссенциальными микроэлементами, в той или иной степени от него страдает 5,1 млрд человек, то есть 68 % всего населения Земли [1]. Йод относится к жизненно необходимым микроэлементам, влияющим на обмен белков, жиров, углеводов, он участвует в поддержании баланса между процессами энергетического обмена и синтеза новых веществ, функционировании эндокринной системы позвоночных животных [2, 3]. Дефицит йода ведет к множеству негативных последствий для человека, называемых йододефицитными заболеваниями, что происходит из-за недостаточной выработки гормонов щитовидной железы [4]. Недостаточная концентрация гормонов, связанных с дефицитом йода, нередко провоцирует развитие различных психологических проблем [5, 6] и вызывает слабость перед современными пандемиями, отмечена взаимосвязь между заболеваниями щитовидной железы и COVID-19 [7, 8]. Дефицит йода особенно опасен у беременных женщин и маленьких детей, вызывая задержку роста и являясь основной причиной умственной отсталости, что предотвращается путем регулярного введения в рацион пищи, обогащенной йодом [2, 9, 10, 11]. Даже незначительный дефицит йода у женщин во время беременности вызывает последующие образовательные и когнитивные нарушения у детей [12]. Дефицит йода до начала йодирования соли (1930–1990 гг.) был серьезной проблемой в Китае, где из-за этого от 5 до 15 % детей страдали легкой умственной отсталостью [10, 11]. Весомую долю в рационе человека составляют продукты животного происхождения, поэтому содержание йода в кормах для сельскохозяйственных животных напрямую сопряжено с поступлением йода человеку. Недостаток йода в кормах также снижает рентабельность животноводства, снижая иммунитет животных и уменьшая их прирост¹.

Таким образом, дефицит йода у столь значительной части человечества и последствия этого – глобальная проблема, требующая новых подходов к ее решению.

Цель обзора – показать возможный путь решения проблемы йододефицита в Крыму с использованием зеленой нитчатой водоросли *Cladophora*.

Материал и методы. В литературном обзоре привлечено 82 научных источника отечественных и зарубежных авторов, опубликованных преимущественно за последние 10 лет и отражающих проблему йододефицита и пути решения её в различных географических зонах. Предлагается использование природных запасов *Cladophora* из соленых и гиперсоленых водоемов в целях обогащения рациона животных. Поиск научных статей осуществляли с помощью мониторинга электронных библиотечных систем eLIBRARY.RU, Research Gate, Springer и Cyberleninka.

Основная часть. *Йод: свойство и нахождение в природе.* Йод – самый тяжелый из стабильных галогенов с атомным номером 53, биофильный редокс-чувствительный микроэлемент, является 60-м по распространенности элементом, его содержание в горных породах земной коры в среднем составляет 0,46 мг/кг [13, 14]. Йод не входит в состав породообразующих минералов. В магматических породах его концентрация в среднем составляет 0,24 мг/кг, в современных отложениях – от 5 до 200, в карбонатных породах – в среднем 2,7 мг/кг, в сланцах – 2,3, в песчаниках – 0,8 мг/кг. Отложения с большим количеством органического вещества более богаты йодом. Из-за низкой концентрации йода в горных породах их выветривание представляет незначительный приток йода в почвы и внутренние воды [14].

В почвах концентрация йода обычно гораздо выше, чем в подстилающих коренных породах и варьирует от 0,73 до 14,9 мг/кг в зависимости прежде всего от типа почвы и других характеристик ландшафта.

¹Карабаева М. Э. Проблема йододефицита у животных. Эффективное животноводство. 2018;(2(141)):28-29. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32735626> EDN: YUSRIV

Меньшая часть йода в почве растворена в почвенной воде, а его большая часть связана с органическим веществом, глиной, оксидами алюминия и железа. В основном в почву йод поступает из атмосферы, куда он попадает из океанов (около 70 %), а также лесов, болот и озер. Поступление из Мирового океана в атмосферу представляет собой основной поток в глобальном цикле йода, но вероятно, что его прямое влияние на наземную среду ограничено лишь 50–80 км. Поэтому йод, присутствующий в почвах и водах в районах, удаленных от морей, обусловлен в значительной степени альтернативными наземными источниками [14]. В воде дождевых осадков континентального происхождения зарегистрирована общая концентрация йода в среднем 7,88 нМ, что в 5 раз меньше, чем в осадках морского происхождения 39,4 нМ [14, 15]. То есть, чем дальше от берега моря, тем меньше йода поступает в почву с осадками. Поэтому в прибрежных районах, расположенных не более 3 км от моря, ряда европейских стран (Франция, Германия, Ирландия) содержание йода в среднем в 5,3 раза больше, чем во внутренних частях [14]. Йод, входящий в состав органического вещества, составляет, как правило, более половины от того, что содержится в осадках и растворимом компоненте аэрозолей [14]. Близость к морскому побережью, обеспечивающему поступление йода через атмосферу, роза ветров, высота над уровнем моря, характер ландшафта и органическое вещество почвы являются наиболее важными факторами, определяющими йодный статус почвы [14, 16].

Таблица 1 – Усредненное содержание йода в водах морского происхождения при разной общей солености /
Table 1 – Average iodine content in thalassohaline waters at different total salinity

Элемент / Element	Соленость, г/л / Salinity, g/l							
	0	10	20	35	50	70	150	200
Йод / Iodine	2	19	36	60	87	114	280	380

Содержание йода в снеге и дождевой воде достоверно не различается, варьируя от 0,5 до 20 мг/л. Ежегодно 5×10^{11} г йода переносится из Мирового океана в атмосферу, поэтому с удалением от береговой полосы наблюдается уменьшение его концентрации в атмосферных осадках [14]. Отношение I/Cl в атмосфере намного выше, чем в морской воде (1×10^{-2}). Следовательно, существует механизм, который объясняет это обогащение йодом относительно хлора. Некоторое количество йода поступает в атмосферу непосредственно из морских брызг, однако это не может объяснить

Основная масса йода геосферы находится в Мировом океане. Содержание йода в морской воде меняется от 13 до 120 мкг/л, и в среднем составляет 60 мкг/л, в пресных водах его содержание ниже и очень вариабельно – в среднем 2 мкг/л; гиперсоленые поверхностные и подземные воды, имеющие соленость выше морской, обычно обогащены йодом – от 3 до 4000 мкг/л [14]. Йод в природных водоемах находится в виде йодата (IO_3^-), йодида (I^-) и органического йода, причем I^- преобладает в поверхностных водах, тогда как IO_3^- составляет большую долю в глубинных водах [17, 18, 19]. Геохимические процессы круговорота хлора и йода в значительной степени близки, что обуславливает рост концентрации йода с увеличением солености [14, 17]. Для морской воды разной солености отношение концентраций этих элементов (I/Cl) около $2,5 \times 10^{-6}$ [14]. В двух Средиземно-морских локациях показано, что в диапазоне солености от 0 до 41 г/л суммарное содержание минеральных форм йода достоверно ($p = 0,001$) линейно положительно коррелирует с соленостью [17]. Суммируя собственные и литературные данные, рассчитали усредненные концентрации йода в морской воде разной солености (табл. 1), от пресных до гиперсоленых вод (соленость 200 г/л) концентрация элемента увеличивается в 190 раз. Распределение йода в Мировом океане имеет географическую закономерность: с высокими концентрациями в теплых водах низких широт и низкими концентрациями в высоких широтах [20, 21].

столь существенное обогащение ее йодом. На поверхности моря присутствует богатая органическими веществами нейстонная пленка, в которой высокое содержание йода, что может вести к появлению аэрозолей, обогащенных йодом [14]. Растворимый органически связанный йод является, как правило, доминирующей фракцией в пробах дождевой воды и снега, с меньшим количеством йодида и йодата, что также подтверждает такое предположение [22]. Суммируя имеющиеся данные и обобщения, глобальный цикл йода можно представить в виде общей схемы (рис. 1).

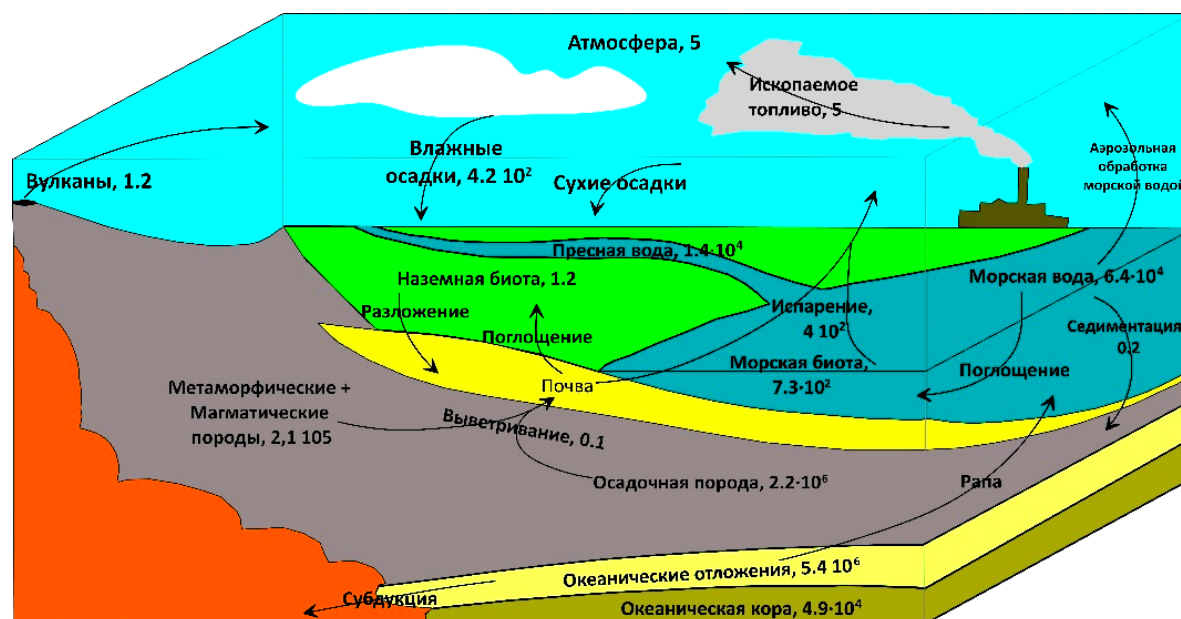


Рис. 1. Общая схема цикла йода с участием биоты. Единицы измерения: тераграммы, Тг /

Fig. 1. General diagram of the iodine cycle with the participation of biota. Units of measurement: teragrams, Tg

Определенная часть йода содержится в биомассе организмов, при этом его содержание напрямую зависит от концентрации в среде, которая не является строго линейной [14, 23]. Коэффициенты концентрирования йода в биомассе разных организмов при низком содержании йода в среде могут быть существенно выше, чем при более высоком². Содержание йода очень различается в организмах, обитающих в разных средах [14, 24]: в морских водорослях – от 30 до 1500 мкг/г сух. массы; морских животных – от 1 до 150 мкг/г сух. массы; наземных растений – от 0,1 до 7,0 и наземных животных – от 0,05 до 0,50 мкг/г сух. массы.

Йододефицитные провинции. Крым. Йод присутствует в почвах повсеместно, но распределен крайне неравномерно, выделяются биогеохимические провинции с его дефицитом³. Причины этой неоднородности кратко рассмотрены выше. В частности, суммарное поступление йода с атмосферными осадками на определенной территории зависит от ряда факторов, среди которых основными являются удаленность от моря и суммарное количество осадков. Между поступлением йода на поверхность почвы и суммой осадков показана близкая к линейной положительная достоверная зави-

симость [14, 22]. Поэтому практически все аридные регионы являются йододефицитными. Выше было также отмечено, что в теплых морских водах низких широт значительно большие концентрации йода, чем в высоких широтах, как и то, что с ростом солёности концентрация йода увеличивается. Следовательно, с поверхности распресненных холодных северных морей в атмосферу, а затем и в почву поступает значительно меньше йода, чем с поверхности более теплых.

Потребность в йоде у человека зависит от его возраста и физиологического состояния. Согласно рекомендациям Всемирной организации здравоохранения, в РФ приняты следующие показатели: дети до 6 лет – 90 мкг/сут, дети 7–12 лет – 120, дети старше 12 лет и взрослые – 150, беременные и кормящие женщины 250 мкг/сут [25]. Йододефицитные провинции, где эти показатели не достигаются, занимают большую часть территории России, где проживает около 70 % населения [1]. Согласно данным Iodine Global Network, Российская Федерация относится к районам с умеренным дефицитом йода, его медианная концентрация в моче составляет 78 мкг/л [26].

²Летунова С. В., Алексеева С. А., Коробова Е. М. Концентрирование йода грибом *Penicillium chrysogenum*, обитающим в почвах Нечерноземной зоны. Научные доклады высшей школы. Биологические науки. 1986;10:94–98. [Электронный ресурс]. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2948572> (дата обращения: 16.02.2025).

³Ковальский В. В. Проблемы биогеохимии микроэлементов и геохимической экологии: избранные труды. М.: Россельхозакадемия, 2009. 356 с.

Выведение йода с мочой является хорошим индикатором потребления йода, рекомендованным индикатором йодного статуса населения является медиана, нормальные значения которой составляют 100–299 мкг/л у школьников и взрослых, а у беременных женщин – 150–249 мкг/л [27].

Республика Крым, несмотря на близость к морям, все же является регионом с критически низким содержанием йода как в источниках водоснабжения, так и в почвах [28]. Бедность полуострова йодом, в первую очередь, обусловлена его геологическими особенностями и аридностью климата. В последние десятилетия происходит аридизация климата в регионе [29], что может привести к росту дефицита йода. В. В. Ковальский установил нижние пороговые концентрации йода в почвах, которые составляют не менее 2–5 мг/кг при норме от 5 до 40 мг/кг, а избыточное содержание йода – более 40 мг/кг⁴. На основе этого он определил, что порядка 65 % территории Крыма относится к зоне с дефицитом йода в почве с концентрацией менее 5 мг/кг. В целом содержание йода в источниках питьевой воды горного Крыма: в реках – 24,4 мкг/л; в колодцах, скважинах и родниках – 17,5 мкг/л; однако для отдельных источников отмечена более низкая концентрация йода: для колодцев – 0,89 мкг/л и для скважин – до 1,75 мкг/л⁵. Диапазон концентрации йода в почвах Крыма варьирует от 0,50 до 2,95 мг/кг в степных районах, от 5,83 до 16,5 мг/кг – в предгорьях и прибрежных районах [30].

Синергизм действий йода и селена одинаково важен в метаболизме тиреоидных гормонов животных и человека [2, 31]. Йод – необходимый компонент для образования двух основных гормонов щитовидной железы (трийодотиронина и тетрайодотиронина). Селен необходим для синтеза селенобелков тиреоидного метаболизма, которые участвуют в метаболизме гормонов щитовидной железы, в контроле переработки избытка тиреоидных гормонов и вовлечены в антиоксидантную и иммунную защиту [32]. Одновременный дефицит йода и селена ведет к более выраженному гипотиреозу, чем при дефиците только йода. Крым, наряду с дефицитом йода, является

и селенодефицитным регионом [33], поэтому синергизм этих двух микроэлементов нельзя недоучитывать. Избыток йода в пище также может вести к патологическим состояниям [27, 34]. Достаточное количество селена в рационе защищает от токсических эффектов переизбытка йода [2, 35]. Рекомендуются следующие нормы потребления селена, мкг/сут: дети до 3 лет – 20; дети от 4 до 8 лет – 30; дети от 9 до 13 лет – 40; взрослые и дети старше 13 лет – 55; беременные и кормящие женщины – 60 и 70 мкг/сут соответственно [36]. Дефицит селена распространен в мире в меньшей степени, чем йода, но от него страдает 38 % населения планеты [1].

Йододефицит и животноводство. Реакции сельскохозяйственных животных на дефицит йода не отличаются от таковых у людей [37, 38]. Источником питательных веществ для животноводства и птицеводства являются преимущественно растительные корма. Поскольку содержание йода в кормах йододефицитных провинций понижено, то это сказывается и на выращиваемых животных. В настоящее время предложены следующие обобщенные критерии оценки суточного поступления йода с кормами в животноводстве [39]: от 6 до 60 мкг/кг/день – относительно нормальный уровень поступления; от 3 до 6 мкг/кг/день – недостаточное поступление/риск заболевания; от 60 до 100 мкг/кг/день – риск субтоксикоза.

Концентрация йода в растениях связана с его содержанием в почвах: при концентрации йода в почвах 5 мг/кг, в растениях в среднем будет 2,5 мг/кг [40]. В этом случае крупный рогатый скот, питающийся травой в пастбищный период, недополучает необходимое количество йода, т. е. дефицит йода в окружающей среде приводит к дефициту йода в организме, в частности коров, у которых отмечаются различные патологические изменения, нарушения репродуктивных функций, повышается смертность молодняка [41]. Дефицит йода влияет на сопротивляемость организма к болезням, ведет к гиперплазии щитовидной железы, снижению активности обменных процессов, подавлению синтеза белка и усилению отложений жира, повышается заболеваемость и падает продуктивность животных [42]. Все это

⁴Ковальский В. В. Указ. соч.

⁵Березкин В. Ю., Каюкова Е. П., Ушакова Л. В. Содержание йода в водах питьевого назначения Горного Крыма как один из возможных факторов и индикатор йододефицита. Биогеохимия – научная основа устойчивого развития и сохранения здоровья человека: тр. XI Международн. биогеохимической школы, посвящ. 120-летию со дня рождения В. В. Ковальского: в 2 томах. Тула: Тульский ГПУ им. Л.Н. Толстого, 2019. Т. 2. С. 125–128.

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38530268> EDN: RUWHFX

создает не только угрозу йододефицита у людей, потребляющих мясные продукты, но и существенному уменьшению эффективности и экономической выгоды животноводства, особенно на фоне наличия и селенодефицита на полуострове.

Способы борьбы с йододефицитом. Уже в начале XIX в. препараты йода стали применять как лекарственное средство⁶. Французский врач Гаспар Адольф Шатен был первым, кто доказал, что зоб щитовидной железы связан с дефицитом йода и предложил использование микродозы йода в борьбе с этим заболеванием. В 1895 г. было экспериментально доказано влияние щитовидной железы на обмен веществ [43]. К началу XX в. сформировались научные предпосылки для организации массовой профилактики зоба, и первые масштабные мероприятия с применением йодированной соли были осуществлены в 1916–1920 гг. в США⁷. Швейцария стала первой страной, которая приняла закон (1922 г.) о производстве йодированной соли для массовой профилактики зоба щитовидной железы у населения, чуть позже йодированную соль стали выпускать и в других странах Европы, в СССР программу по йодированию соли начали в 1933 году с наращиванием ее производства⁸. К настоящему времени в 95 странах из 130, где в почвах и водах наблюдается дефицит йода, существуют законодательные акты по обязательному йодированию соли. Не рассматривая далее вопрос йодирования соли, лишь отметим, что наряду с весьма существенными положительными результатами по профилактике йододефицитных заболеваний имеется и ряд негативных моментов, ведущих к распространению ряда заболеваний [27, 34].

Другое направление борьбы с дефицитом йода связано с увеличением его концентрации в пищевых продуктах. Обязательное обогащение хлеба йодом было введено в Австралии в 2009 г., что также показало успешность этой меры [44].

В настоящее время разработаны разные способы повышения концентрации йода в продуктах питания, большинство из которых основаны на добавлении иодитов или иодатов в конечные продукты. Их в настоящем обзоре рассматривать не будем, т. к. не считаем их

достаточно целесообразными и экономически рентабельными.

Еще один подход основан на выращивании растений на почвах, обогащенных йодом. Внесение в почву удобрений с повышенным содержанием йода и селена не только увеличивает концентрацию этих микроэлементов в биомассе зерновых, но и повышает всхожесть и рост растений [45]. Обогащенные йодом корма затем используются для выращивания животных с повышенным содержанием йода в мясе, молоке, яйцах. В ряде стран, наряду с йодированием соли, существуют государственные программы по использованию йодсодержащих добавок в животноводстве для повышения количества йода в животноводческой продукции: увеличение йода в кормах может повышать его содержание в молоке в 15 раз, в яйцах – в 100 раз; в США 50 % йода взрослое население получает с молочными продуктами, а дети – до 80 %⁹.

В Российской Федерации в настоящий момент зарегистрировано 113 йодсодержащих кормовых добавок, из них 29 % предназначены для крупного рогатого скота и 29 % – для птицы. Более половины добавок – 58,41 % – произведены искусственным путем – на основе химического или микробиологического синтеза [46]. Источником питательных веществ для животноводства и птицеводства Республики Крым являются преимущественно растительные корма. Поскольку на полуострове содержание йода в кормах сопряжено с его дефицитом в почве, то следует широко внедрять способы обогащения этим ценным элементом рационов животных и птицы.

Самым простым очевидным способом предотвращения дефицита йода является искусственное насыщение этим микроэлементом кормов и воды. За прошедшее столетие государственные программы профилактики йододефицита были успешно разработаны и внедрены во многих странах мира. В большинстве случаев это достигается обогащением йодом поваренной соли и кормов для сельскохозяйственных животных [10, 46]. Как правило, йодная профилактика ограничивается добавлением в рацион питания калиевой соли иодоводородной кислоты (KI), которая характеризуется

⁶ Антонова М. С. Борьба с йод-дефицитом: история и современность. Исследовано в России. 2004;(7):2190–2198.

URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/borba-s-yod-defitsitom-istoriya-i-sovremennost/viewer>

⁷ Там же.

⁸ Николаев О. В. Эндемический зоб. М.: Медгиз, 1955. 257 с.

⁹ Спиридонов А. А., Мурашова Е. В. Обогащение йодом продукции животноводства. Нормы и технологии. СПб.: ООО «Типография «Бреста», 2010. 96 с.

¹⁰ Там же

высоким уровнем растворимости. Однако этот препарат далеко не всегда оказывается эффективным. Дело в том, что соль KI окисляется в сильной степени под действием солнечных лучей, при этом она способна вступать в химическую реакцию с другими минеральными смесями, входящими в состав кормов, образуя в результате совершенно нерастворимые комплексы и негативно влияя на некоторые процессы в организмах животных [40, 41]. Передозировка йода может вести к заболеваниям животных. Рост случаев гипертиреоза ведет к пересмотру подхода к доставке йода в организм сельскохозяйственных животных с использованием не минеральных солей йода, а его органических соединений [42, 46]. В органическом комплексе йод усваивается организмом только при дефиците элемента, если же его достаточно, то он медленно выводится. Органические соединения йода практически не могут привести к токсикозу животных, и микроэлемент в их составе действует эффективнее.

И еще одно перспективное направление – большее употребление в пищу морепродуктов, в которых концентрация йода значительно выше, чем в наземных растениях и организме животных [14]. В 1811 г. французский химик Бернар Куртуа открыл новый элемент, названный йодом, выделив его из морских водорослей [47]. Поэтому неудивительно, когда Г. Шатен установил, что зоб щитовидной железы связан с дефицитом йода, морские водоросли вскоре стали использовать для профилактики и лечения этого заболевания [47, 48, 49]. Наибольшая концентрация йода (до более 1 % сухой массы тела) среди морских организмов зафиксирована у некоторых видов бурых водорослей [14].

При этом не надо упускать из виду то, что чрезмерное употребление морепродуктов может вести к росту заболеваемости, в частности к гипертиреозу [49, 50]. В популяциях с избытком йода дисфункция щитовидной железы чаще всего обусловлена аутоиммунными заболеваниями щитовидной железы, для которых характерно наличие циркулирующих аутореактивных антител, специфичных к щитовидной железе [34]. Существующая в Японии культура потребления морепродуктов, включая водоросли, позволяет обеспечивать население Страны Восходящего Солнца йодом практически полностью, так как концентрация йода в морепродуктах, особенно водорослях, высока

и составляет от 16 до 6000 мкг/г. В результате количество йода, которое японцы потребляют ежедневно, оценивается в пределах от 13,5 до 45,0 мг в сутки, что в 4,5–15,0 раз превышает безопасный верхний предел, составляющий 3 мг/сут, установленный Министерством здравоохранения, труда и социального обеспечения Японии [50]. Существенных проблем с передозировкой йода удастся избежать на островном государстве, возможно, по следующим причинам. Избыток йода ухудшает симптомы у людей с уже сформировавшимся аутоиммунным заболеванием или другими сопутствующими заболеваниями щитовидной железы. Гипотиреоз все еще часто встречается у населения Японии и в большинстве случаев подавляется путем ограничения потребления морских водорослей [51, 52]. В азиатских культурах морские водоросли обычно подаются с продуктами, такими как брокколи, капуста, соя, которые содержат зобогенные гормоны [53]. Вещества, содержащиеся в этих продуктах, ингибируют поглощение йода щитовидной железой (например, изотиоцианаты крестоцветных или изофлавоны сои). Морские водоросли концентрируют в себе и другой галоген – бром, а если морские водоросли с повышенным содержанием брома и низким содержанием йода будут употреблены в пищу, организм переходит в состояние дефицита йода. В этом случае может ингибироваться синтез гормонов щитовидной железы в следствие присоединения брома к остаткам тирозина в молекуле тиреоглобулина вместо йода [53, 54, 55]. Поэтому проблема с передозировкой йода при употреблении морепродуктов не так опасна.

Зеленые нитчатые водоросли Cladophora в профилактике дефицита йода. Максимальные концентрации йода среди водорослей найдены у представителей бурых водорослей, которым и уделяется значительно больше внимания в деле преодоления дефицита йода. Как показывают результаты различных исследований, зеленые водоросли накапливают меньше йода – до 1000 мкг/г сухой массы (табл. 2). Йод может находиться в биомассе водорослей как в минеральной форме (йодиты и йодаты), так и в составе органических молекул (йодолипиды, йодопотеины и др.). При этом в бурых водорослях на минеральный йод приходится от 30 до 90 % его общего содержания, у красных – от 30 до 44 %, у зеленых – всего от 9 до 18 %¹¹.

¹¹Саенко Г. Н. Металлы и галогены в морских организмах. М.: Наука, 1992. 200 с.

Таблица 2 – Найденные концентрации йода в различных видах зеленых макроводорослей /
Table 2 – Iodine concentrations found in different species of green macroalgae

Вид / Species	Район / Region	Концентрация, мкг/г сухой массы / Concentration, µg/g dry mass	Источник / References
<i>Chaetomorpha moniligera</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	10	_12
<i>Cladophora glomerata</i>	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	35	[56]
<i>Cladophora pellucida</i>		95	[56]
<i>Cladophora pinnulate</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	489	[58]
<i>Cladophora stimpsonii</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	40	_13
<i>Cladophora vagabunda</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	181–645	[58]
<i>Cladophora</i> spp.		188	[58]
<i>Codium yessoense</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	81	_14
<i>Enteromorpha clathrata</i>		10	_15
<i>Enteromorpha prolifera</i>	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	31	[56]
<i>Ulva fasciata</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	330–761	[58]
	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	40	[56]
<i>Ulva fenestrata</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	81	_16
	Остров Итуруп, Охотское море / Iturup Island, Sea of Okhotsk	20	_17
<i>Ulva intestinalis</i>	Атлантический океан, у берегов Ирландии / Atlantic Ocean, off the coast of Ireland	92	[55]
	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	520–780	[58]
<i>Ulva lactuca</i>	Японское море / The Sea of Japan	30–185	[19]
	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	74–389	[58]
	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	47	[56]
<i>Ulva linz</i>	Средиземное море, у Египта / The Mediterranean Sea, off Egypt	130	[56]
<i>Ulva rigida</i>	Индийский океан, у берегов Индии / Indian Ocean, off the coast of India	48	[58]
	Черное море / Black Sea	946	[59]
<i>Ulva</i> spp.	-	29–290	[47]
<i>Ulvaria splendens</i>	Залив Восток, Японское море / Vostok Bay, Sea of Japan	130	_18
<i>Undaria pinnatifida</i>	Японское море / Sea of Japan	30–185	[19]

¹²Саенко Г. Н. Указ. соч.

¹³Там же.

¹⁴Там же.

¹⁵Там же.

¹⁶Там же.

¹⁷Там же.

¹⁸Там же.

При избыточном поступлении йода в минеральной форме негативные эффекты в организме выражены сильнее, чем в случае его органических форм [54, 55]. При обработке биомассы водорослей, сушка или кипячение, минеральные формы йода улетучиваются существенно быстрее, чем органические. В экспериментах по дегидратации (сушка) различных водорослей определили, что бурые водоросли при сушке в среднем теряли 62 % начального содержания йода, красные – 15 % и зеленые – 10 %, а при кипячении 75 %, 32 и 14 % соответственно [56]. Близкие результаты получены и другими исследователями [49]. Таким образом, при длительном хранении и переработке в бурых водорослях потери составляют в 4–5 раз больше, чем в зеленых, т. е. концентрация йода в них становится практически одинаковой. Кроме этого, выявлено также, что у зеленых макроводорослей общая антиоксидантная активность, как правило, выше, чем в красных и бурых, как и концентрация некоторых других ценных для организма животных компонент [57, 58].

Среди зеленых водорослей максимальные концентрации йода отмечены у представителей двух родов *Cladophora* и *Ulva* (табл. 2). Оба рода широко представлены в Азово-Черноморском регионе, однако *Cladophora* с точки зрения заготовки и использования

более предпочтительна, т. к. ее суммарная продукция огромна, формируются скопления с высокой концентрацией биомассы, сбор довольно прост. Поэтому основное внимание уделено именно ей.

Нитчатые зеленые водоросли рода *Cladophora* широко распространены в Крыму в водах с разной соленостью – от пресной до гиперсоленой, достигая особенно большого развития в гиперсоленых водах, заливе Сиваш и многочисленных озерах [60, 61, 62]. Кладофора характеризуется очень высокой скоростью продуцирования в природе – до 5 мг (сух. массы)/г/час или 1000 г (сух. массы)/м²/неделя [61], что на два порядка выше, чем у наземных растений и значительно больше, чем у бурых водорослей. При интенсивном развитии она создает плавучие и донные маты с биомассой до 2,25 кг сух. массы/м², которые могут занимать, например в гиперсоленом заливе Сиваш (рис. 2) и озерах Тобечикское, Бакальское и других десятки квадратных километров [60, 62]. Благодаря высоким характеристикам продуктивности и ценному химическому составу, в ряде стран начинает развиваться массовое культивирование разных видов *Cladophora* [63]. В то же время отмеченные максимальные концентрации биомассы *Ulva* в Черном море на порядок ниже [64].



Рис. 2 – Маты зеленой нитчатой водоросли *Cladophora* в гиперсоленом заливе Сиваш (Азовское море)
Fig. 2 – Mats of green filamentous algae *Cladophora* in the hypersaline Sivash Bay (Sea of Azov)

Примерная оценка показала, что в биомассе кладофоры, которую ежегодно можно заготавливать в Крыму без ущерба для экосистем гиперсоленых водоемов, не менее 5 млн тонн [62], суммарное содержание йода будет не менее 500 тонн. Учитывая, что с увеличением солености повышается концентрация йода в воде и соответственно в биомассе водорослей [23], такая оценка будет заниженной. Этого количества более чем достаточно для полного

решения вопроса йододефицита на полуострове. Беря во внимание то, что в кладофоре селена содержится в среднем 8 мкг/г сухой массы, расчет показал, что это сможет решить и проблему селенодефицита в Крыму [65]. Дополнительно примем во внимание и то, что в биомассе кладофоры содержится большое количество других компонент, весьма ценных для здоровья людей и выращиваемых животных [63].

Исходя из анализа литературных данных и наших предварительных исследований, существует несколько возможных направлений использования кладофоры для решения вопроса йододефицита. *Во-первых, пищевое использование кладофоры.* Во многих странах Азии и на островах Тихого океана население, проживающее вдоль побережий рек, озер и морей, на протяжении столетий традиционно использует биомассу кладофоры и других зеленых макроводорослей в пищу и для лечения разных заболеваний [63, 66]. В настоящее время разрабатываются предложения по добавке порошка макроводорослей в различные пищевые продукты (хлеб, рыбные котлеты, колбасы и др.) для увеличения в них концентрации йода и других эссенциальных веществ [67]. На взгляд авторов, это направление имеет хорошие перспективы в таких регионах, как Крым.

Во-вторых, использование биомассы кладофоры в качестве удобрения. Современное сельское хозяйство ищет новые технологии, которые позволили бы сократить применение синтетических удобрений без снижения урожайности, в частности за счет удобрений из морских водорослей [63]. Такое использование водорослей началось еще в античные времена, а сейчас наблюдается новый подъем интереса к этому вопросу во многих странах мира. Опыт разных стран показал, что их эффективное использование для этих целей возможно: в качестве компоста, через получение биоугля; в виде сухого порошка; в форме жидких удобрений [63]. Вероятно рациональней всего иметь в виду все эти подходы, адаптируя их комбинации к конкретным условиям в каждом случае.

В-третьих, использование кормовых добавок из кладофоры в животноводстве, птицеводстве и пресноводном рыбоводстве. Исследования и эксперименты в этом направлении успешно ведутся с разными животными во многих странах [63]. К настоящему времени весьма положительные результаты применения кормовых добавок из кладофоры показаны на жвачных животных, свиньях, кроликах, бройлерах, курах-несушках, рыбах и креветках.

Более ранние исследования в Крыму показали высокую степень усвоения органической формы йода в липосомальной форме, благодаря которой возможно практически полностью устранить недостаток йода в организме овец [68], кроликов [69] и птицы [70]. Однако производство такой формы затратно и практически недоступно на региональном уровне из-за ее дороговизны и необходимости

длительной транспортировки сырья с побережья к месту изготовления, а затем готового препарата – в Крым, к месту использования.

Исходя из вышесказанного, был разработан способ получения гранулированной кормовой добавки из зеленой нитчатой водоросли кладофоры [65]. Используя биомассу кладофоры, собранную в одном из гиперсолёных озер Крыма, получили опытную партию кормовой добавки и изучили ее влияние на кроликов и бройлеров. У молодняка кроликов, в рацион которых включали добавку кладофоры в размере 1 % от общего рациона, по сравнению с контрольной группой, отметили увеличение убойной массы на 14 %, при этом концентрация йода в мясе увеличилась в 4,8 раза [71]. Гематологические показатели крови кроликов также отреагировали на это положительно [72].

Обобщенные данные и проведенные расчеты показали, что потенциальная ежегодная глобальная экономическая выгода от борьбы с йододефицитными заболеваниями может превышать 40 млрд долларов [73]. В Германии общие годовые затраты, связанные с йододефицитными заболеваниями, составляют 8 млн евро [74]. В РФ, как показывают сделанные оценки [75]: в 2020–2022 гг. на одного пациента с йододефицитным заболеванием наше государство затрачивало примерно 10222 рубля в год, и это без учета косвенных потерь (оплата больничных листов, реабилитация, затраты на содержание инвалидов, предотвращение репродуктивных потерь, йодная профилактика лекарственными препаратами и т. д.).

Заключение. Показано, что *Cladophora* из соленых и гиперсоленых водоемов характеризуется высоким содержанием йода, в связи с чем использование этих водорослей на Крымском полуострове является тем незадействованным потенциалом, который позволит обогащать рационы питания сельскохозяйственных животных и птицы органическим йодом в доступной форме. Экспериментально доказано, что использование в кормлении сельскохозяйственных животных добавок из кладофоры (1 % суммарного рациона) является не только способом существенного повышения концентрации йода в мясе, молоке, яйцах, но может вести к росту рентабельности, по крайней мере, кролиководства и птицеводства. Говоря о перспективах использования биомассы кладофоры для профилактики йододефицита, нельзя упускать из виду и экономическую составляющую. Использование данного ресурса

будет вести не только к существенному снижению расходов, связанных с йододефицитными заболеваниями, но и прямой экономической

выгоде, обусловленной увеличением рентабельности животноводства, птицеводства, аквакультуры.

Список литературы

1. Passarelli S., Free C. M., Shepon A., Beal T., Batis C., Golden C. D. Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modeling analysis. *The Lancet Global Health*. 2024;12(10):e1590–e1599. DOI: [http://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00276-6](http://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00276-6)
2. Скальная М. Г. Йод: биологическая роль и значение для медицинской практики. Микроэлементы в медицине. 2018;19(2):3–11. DOI: <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2018-19-2-3-11> EDN: YKVYKL
3. Zimmermann M. B. Chapter 25 - Iodine and the iodine deficiency disorders. In: *Present Knowledge in Nutrition* (Eleventh Edition). Vol. 1: Basic Nutrition and Metabolism. Academic Press: London. 2020. P. 429–441. DOI: <http://doi.org/10.1016/b978-0-323-66162-1.00025-1>
4. Трошина Е. А., Маколина Н. П., Колпакова Е. А., Никифорович П. А., Исаева М. П., Абдулхабирова Ф. М., Платонова Н. М. Структурные и морфологические характеристики узлового зоба в условиях хронического дефицита йода. Клиническая и экспериментальная тиреоидология. 2023;19(1):20–28. DOI: <http://doi.org/10.14341/ket12748> EDN: TMOCOI
5. Luft M. J., Aldrich S. L., Poweleit E., Prows C. A., Martin L. J., DelBello M. P. et al. Thyroid function screening in children and adolescents with mood and anxiety disorders. *The Journal of Clinical Psychiatry*. 2019;80(5):18m12626. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.18m12626>
6. Hirtz R., Föcker M., Libuda L., Antel J., Öztürk D., Kiewert C. et al. Increased prevalence of subclinical hypothyroidism and thyroid autoimmunity in depressed adolescents: results from a clinical cross-sectional study in comparison to the general pediatric population. *The Journal of Clinical Psychiatry*. 2021;82(2): 20m13511. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.20m13511>
7. Damara F. A., Muchamad G. R., Ikhsani R., Syafiyah A. H., Bashari M. H. Thyroid disease and hypothyroidism are associated with poor COVID-19 outcomes: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2021;15(6):102312. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.102312>
8. Xiong X., Wong C. K., Au I. C., Lai F. T., Li X., Wan E. Y. et al. Safety of inactivated and mRNA COVID-19 vaccination among patients treated for hypothyroidism: a population-based cohort study. *Thyroid*. 2022;32(5):505–514. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2021.068>
9. Biban B. G., Lichiardopol C. Iodine deficiency, still a global problem? *Current Health Sciences Journal*. 2017;43(2):103–111. DOI: <http://doi.org/10.12865/CHSJ.43.02.01>
10. Sun D., Codling K., Chang S., Zhang S., Shen H., Su X. et al. Eliminating iodine deficiency in China: achievements, challenges and global implications. *Nutrients*. 2017;9(4):361. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu9040361>
11. Yao N., Zhou C., Xie J., Li X., Zhou Q., Chen J., Zhou S. Assessment of the iodine nutritional status among Chinese school-aged children. *Endocrine Connections*. 2020;9(5):379–386. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-19-0568>
12. Farebrother J., Dalrymple K. V., White S. L., Gill C., Brockbank A. et al. Iodine status of pregnant women with obesity from inner city populations in the United Kingdom. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2021;75:801–808. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00796-z>
13. Taylor S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964;28(8):1273–1285. DOI: [http://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](http://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)
14. Fuge R., Johnson C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 2015;63:282–302. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.013>
15. Suess E., Aemisegger F., Sonke J. E., Sprenger M., Wernli H., Winkel L. H. Marine versus continental sources of iodine and selenium in rainfall at two European high-altitude locations. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(4):1905–1917. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.8b05533>
16. Wang W., Wang X., Zhang B., Chi Q., Liu Q., Zhou J. et al. Spatial distribution of iodine in the pedosphere of China and its influencing factors. *Journal of Geochemical Exploration*. 2023;248:107191. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.jexplo.2023.107191>
17. Abdel-Moati M. A. Iodine speciation in the Nile River estuary. *Marine Chemistry*. 1999;65(3–4):211–225. DOI: [http://doi.org/10.1016/s0304-4203\(99\)00003-1](http://doi.org/10.1016/s0304-4203(99)00003-1)
18. Truesdale V. W. The biogeochemical effect of seaweeds upon close-to natural concentrations of dissolved iodate and iodide in seawater: preliminary study with *Laminaria digitata* and *Fucus serratus*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2008;78(1):155–165. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.022>
19. Smyth P. P. Iodine, seaweed, and the thyroid. *European Thyroid Journal*. 2021;10(2):101–108. DOI: <http://doi.org/10.1159/000512971>
20. Carpenter L. J., Chance R. J., Sherwen T., Adams T. J., Ball S. M., Evans M. J. et al. Marine iodine emissions in a changing world. *Proceedings of the Royal Society A*. 2021;477(2247):20200824. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspa.2020.0824>
21. Moriyasu R., Bolster K. M., Hardisty D. S., Kadko D. C., Stephens M. P., Moffett J. W. Meridional survey of the central pacific reveals iodide accumulation in equatorial surface waters and benthic sources in the abyssal plain. *Global Biogeochemical Cycles*. 2023;37(3):e2021GB007300. DOI: <http://doi.org/10.1029/2021GB007300>

22. Gilfedder B. S., Lai S. C., Petri M., Biester H., Hoffmann T. Iodine speciation in rain, snow and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008;8(20):6069–6084. DOI: <http://doi.org/10.5194/acp-8-6069-2008>
23. Van Bergeijk S. A., Hernández L., Zubia E., Cañavate J. P. Iodine balance, growth and biochemical composition of three marine microalgae cultured under various inorganic iodine concentrations. *Marine Biology*. 2016;163:107. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00227-016-2884-0>
24. Ермаков В. В., Ковальский Ю. В. Живое вещество биосферы: масса и химический элементный состав. *Геохимия*. 2018;(10):931–944. DOI: <http://doi.org/10.1134/S0016752518100060> EDN: XZZFKH
25. Попова А. Ю., Тутельян В. А., Никитюк Д. Б. О новых (2021) нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. *Вопросы питания*. 2021;90(4):6–19. DOI: <http://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19> EDN: VSSZQJ
26. Алферова В. И., Мустафина С. В., Рымар О. Д. Йодная обеспеченность в России и мире: что мы имеем на 2019 год? *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2019;15(2):73–82. DOI: <http://doi.org/10.14341/ket10353> EDN: VRVVZZ
27. Karbownik-Lewińska M., Stępiak J., Iwan P., Lewiński A. Iodine as a potential endocrine disruptor – a role of oxidative stress. *Endocrine*. 2022;78(2):219–240. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12020-022-03107-7>
28. Березкин В. Ю., Глебов В. В., Каюкова Е. П. Причины низкого содержания йода в почвенном покрове и водах питьевого назначения второй гряды Горного Крыма. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности*. 2023;31(4):521–532. DOI: <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532> EDN: RRUUQN
29. Shadrin N., Mirzoeva N., Proskurnin V., Anufrieva E. The vertical distribution of 27 elements in bottom sediments reflects the modern history of the hypersaline lagoon. *Regional Studies in Marine Science*. 2023;67:103183. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103183>
30. Безруков О. Ф., Зима Д. В., Михайличенко В. Ю., Хабаров О. Р., Самарин С. А. Эволюция взглядов на патогенез и хирургическое лечение патологии щитовидной железы в Крыму. *Таврический медико-биологический вестник*. 2022;25(3):163–167. DOI: <http://doi.org/10.29039/2070-8092-2022-25-3-163-167> EDN: GIMTDZ
31. Dijk-Brouwer D. J., Muskiet F. A., Verheesen R. H., Schaafsma G., Schaafsma A., Geurts J. M. Thyroidal and extrathyroidal requirements for iodine and selenium: A combined evolutionary and (Patho)Physiological approach. *Nutrients*. 2022;14(19):3886. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu14193886>
32. Трошина Е. А., Сеньюшкина Е. С., Терехова М. А. Роль селена в патогенезе заболеваний щитовидной железы. *Клиническая и экспериментальная тиреоидология*. 2018;14(4):192–205. DOI: <http://doi.org/10.14341/ket10157> EDN: NOEQGO
33. Евстафьева Е. В., Голубкина Н. А., Бояринцева Ю. А., Богданова А. М., Тымченко С. Л. Обеспеченность селеном городских жителей на территории Крымского полуострова. *Гигиена и санитария*. 2021;100(2):147–153. DOI: <http://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153> EDN: SIAIYP
34. Taylor P. N., Albrecht D., Scholz A., Gutierrez-Buey G., Lazarus J. H., Dayan C. M., Okosieme O. E. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism. *Nature Reviews Endocrinology*. 2018;14(5):301–316. DOI: <http://doi.org/10.1038/nrendo.2018.18>
35. Chen X., Liu L., Yao P., Yu D., Hao L., Sun X. Effect of excessive iodine on immune function of lymphocytes and intervention with selenium. *Journal of Huazhong University of Science and Technology-Medical Sciences*. 2007;27(4):422–425. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11596-007-0418-1>
36. Елисеева Т. Селен (Se) – значение для организма и здоровья + 30 лучших источников. *Журнал здорового питания и диетологии*. 2022;(19):55–64. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59159965> EDN: QSEPAQ
37. Schöne F., Rajendram R. Chapter 16 – Iodine in farm animals. In: *Comprehensive handbook of iodine: nutritional, biochemical pathological and therapeutic aspects*. Academic: Burlington. Academic Press, 2009. pp. 151–170. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00016-9>
38. Iannaccone M., Ianni A., Elgendy R., Martino C., Giantin M., Cerretani L. et al. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in Fresian cow. *Animals*. 2019;9(11):866. DOI: <http://doi.org/10.3390/ani9110866>
39. Ермаков В. В. Геохимическая экология и биогеохимические критерии оценки экологического состояния таксонов биосферы. *Геохимия*. 2015;(3):203–221. DOI: <http://doi.org/10.7868/S0016752515030061> EDN: TJFGKZ
40. Побилат А. Е., Волошин Е. И. Мониторинг йода в системе «почва – растение» (обзор). *Вестник КрасГАУ*. 2020;(10(163)):101–108. DOI: <http://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-101-108> EDN: PCASUF
41. Пилов А. Х., Тарчоков Т. Т., Пойденко А. А., Миллер Т. В. Трансформация клеточного состава щитовидной железы коров в условиях йододефицита. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2023;17(1):52–60. DOI: http://doi.org/10.22450/19996837_2023_1_52 EDN: NCLFER
42. Петров А. К., Гнездилова Л. А. Действие йодсодержащих препаратов на биохимические показатели крови и откормочные качества молодняка овец. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство*. 2015;(1):48–54. DOI: <http://doi.org/10.22363/2312-797X-2015-1-48-54> EDN: TIVVAZ
43. Rosenfeld L. Discovery and Early Uses of Iodine. *Journal of Chemical Education*. 2000;77(8):984. DOI: <http://doi.org/10.1021/ed077p984>
44. Condo D., Huyhn D., Anderson A. J., Skeaff S., Ryan P., Makrides M. et al. Iodine status of pregnant women in South Australia after mandatory iodine fortification of bread and the recommendation for iodine supplementation. *Maternal & Child Nutrition*. 2017;13(4):e12410. DOI: <http://doi.org/10.1111/mcn.12410>

45. Синдирева А. В., Голубкина Н. А., Степанова О. В., Кекина Е. Г. Влияние совместного действия селена и йода на химический состав, урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в условиях южной лесостепи Омской области. *Успехи современной науки*. 2017;2(10):51–57.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905644> EDN: ZELBET
46. Дельцов А. А., Белова К. О. Анализ рынка йодсодержащих кормовых добавок для животных. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2023;(1):84–92. DOI: <http://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202301008> EDN: MOBWUQ
47. Völzke H. The EU thyroid Consortium: The Krakow Declaration on Iodine: Tasks and responsibilities for prevention programs targeting iodine deficiency disorders. *European Thyroid Journal*. 2018;7(4):201–204.
DOI: <http://doi.org/10.1159/000490143>
48. Turrentine J. W. Use of seaweed in the prevention and treatment of goiter. *Endocrinology*. 1924;8(3):409–419.
DOI: <http://doi.org/10.1210/endo-8-3-409>
49. Blikra M. J., Aakre I., Rigutto-Farebrother J. Consequences of acute and long-term excessive iodine intake: A literature review focusing on seaweed as a potential dietary iodine source. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23(6):e70037. DOI: <http://doi.org/10.1111/1541-4337.70037>
50. Zava Th. T., Zava D. T. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Research*. 2011;4:14. DOI: <http://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14>
51. Белоусов Н. М. Эффективность использования Гумитона, обогащенного йодом, в рационах высокопродуктивных коров. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(5):61–63.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17734111> EDN: OYBYXX
52. Строев Ю. И., Чурилов Л. П. Самый тяжелый элемент жизни (к 200-летию открытия йода). *Биосфера*. 2012;4(3):313–342. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17954326> EDN: PCXGNZ
53. Nishiyama S., Makeda T., Okada T., Nakamura K., Kotani T., Hishinuma A. Transient hypothyroidism or persistent hyperthyrotropinemia in neonates born to mothers with excessive iodine intake. *Thyroid*. 2004;14(12):1077–1083.
DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.1077>
54. Teas J., Pino S., Critchley A. T., Braverman L. E. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*. 2004;14(10):836. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.836>
55. Беспалов В. Г., Туманян И. А. Дефицит йода в питании как мультидисциплинарная проблема. *Лечащий врач*. 2019;(3):8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37085242> EDN: ERXREW
56. Nitschke U., Stengel D. B. Quantification of iodine loss in edible Irish seaweeds during processing. *Journal of Applied Phycology*. 2016;28:3527–3533. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10811-016-0868-6>
57. Mantri V. A., Gajaria T. K., Rathod S. G., Prasad K. A Mini Review on Iodinophyte Seaweed Resources of India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2024;14:1–12.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s40011-024-01571-x>
58. El Zokm G. M., Ismail M. M., El-Said G. F. Halogen content relative to the chemical and biochemical composition of fifteen marine macro and micro algae: nutritional value, energy supply, antioxidant potency, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:14893–14908.
DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-020-11596-0>
59. Битютская О. Е., Булли Л. И., Донченко Л. В. Исследование биологии и пищевой ценности *Ulva rigida* C. Ag., как перспективного объекта марикультуры. *Рыбное хозяйство*. 2020;(4):94–100.
DOI: <http://doi.org/10.37663/0131-6184-2020-4-94-100> EDN: SFXWMA
60. Shadrin N. V., Anufrieva E. V. Climate change impact on the marine lakes and their Crustaceans: The case of marine hypersaline Lake Bakalskoye (Ukraine). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013;13(4):603–611.
DOI: http://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_4_05
61. Shadrin N., Latushkin A., Yakovenko V., Prazukin A., Anufrieva E. Daily and other short-term changes in the ecosystem components of the world's largest hypersaline lagoon Bay Sivash (Crimea). *Regional Studies in Marine Science*. 2024;77:103643. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103643>
62. Prazukin A., Shadrin N., Latushkin A., Anufrieva E. Mats of green filamentous alga *Cladophora* in the hypersaline Bay Sivash: distribution, structure, environment-forming role and resource potential. *Regional Studies in Marine Science*. 2025;82:104031. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104031>
63. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Biomass of *Cladophora* (Chlorophyta, Cladophorales) is a promising resource for agriculture with high benefits for economics and the environment. *Aquaculture International*. 2024;32:3637–3673. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-023-01342-x>
64. Marin O. A., Filimon A. *Ulva* species from the Romanian Black Sea Coast—between green blooms and nature's contribution to people. *Cercetări Marine-Recherches Marines*. 2024;54(1):90–103.
DOI: <http://doi.org/10.55268/CM.2024.54.90>
65. Шадрин Н. В., Празукин А. В., Ануфриева Е. В., Фирсов Ю. К. Способ получения кормовой добавки из водорослей: пат. №2823595 Российская Федерация. № 2023125014; заявл. 28.09.2023, опубл. 24.07.2024. Бюл. № 21. 7 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
66. Munir M., Qureshi R., Bibi M., Khan A. M. Pharmaceutical aptitude of *Cladophora*: a comprehensive review. *Algal Research*. 2019;39:101476. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101476>
67. Шаманская А. А., Лях В. А., Ситун Н. В., Федянина Л. Н., Смертина Е. С. К вопросу о безопасности новых ингредиентов на основе морских зеленых водорослей для мясной промышленности. *Journal of Agriculture and Environment*. 2020;(3(31)):3. DOI: <http://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.003> EDN: TTJUPG

68. Паштецкая А. В., Марынич А. П., Остапчук П. С., Емельянов С. А. Мясная продуктивность молодняка овец и динамика структурных элементов крови на фоне применения липосомальной формы антиоксидантов. АПК России. 2020;27(3):550–556. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tmhaac> EDN: ТМНААС
69. Паштецкий В. С., Зубоченко Д. В., Остапчук П. С., Зубоченко А. А. Особенности накопления йода в мышцах кроликов на фоне использования антиоксидантов в липосомальной форме. Аграрный вестник Урала. 2020;(5(196)):51–58. DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-196-5-51-58> EDN: SGGIWX
70. Ильязов Р. Г., Остапчук П. С., Куевда Т. А. Влияние липосомальных форм антиоксидантов (бета-каротина, омега-3 и органического йода) на рост и развитие молодняка птицы. Современное состояние, проблемы и перспективы развития аграрной науки: мат.-лы IV междунар. научн.-практ. конф. Симферополь: ООО «Издательство Типография «Ариал», 2019. С. 340–341. DOI: <http://doi.org/10.33952/09.09.2019.172> EDN: POWXSK
71. Остапчук П. С., Шадрин Н. В., Празукин А. В., Ануфриева Е. В., Куевда Т. А., Фирсов Ю. К. и др. Влияние добавок зеленой нитчатой водоросли *Cladophora* в рацион молодняка кроликов на их рост и развитие. Аграрный вестник Урала. 2025;25(1):61–73. DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-61-73> EDN: OPBMXH
72. Шадрин Н. В., Остапчук П. С., Куевда Т. А., Празукин А. В., Фирсов Ю. К., Гассиев Д. Д., Зубоченко Д. В., Ануфриева Е. В. Влияние добавок нитчатой зеленой водоросли *Cladophora* в рацион кроликов на показатели их крови. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1137–1146. DOI: <http://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146> EDN: PMOYCP
73. Gorstein J. L., Bagriansky J., Pearce E. N., Kupka R., Zimmermann M. B. Estimating the health and economic benefits of universal salt iodization programs to correct iodine deficiency disorders. Thyroid. 2020;30(12):1802–1809. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2019.0719>
74. Schaffner M., Rochau U., Mühlberger N., Conrads-Frank A., Rushaj V. Q., Sroczynski G. et al. The economic impact of prevention, monitoring and treatment strategies for iodine deficiency disorders in Germany. Endocrine Connections. 2021;10(1):1–12. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-20-0384>
75. Трошина Е. А. Устранение дефицита йода – забота о здоровье нации. Экскурс в историю, научные аспекты и современное состояние правового регулирования проблемы в России. Проблемы эндокринологии. 2022;68(4):4–12. DOI: <http://doi.org/10.14341/probl13154> EDN: GAKKBM

References

1. Passarelli S., Free C. M., Shepon A., Beal T., Batis C., Golden C. D. Global estimation of dietary micronutrient inadequacies: a modeling analysis. The Lancet Global Health. 2024;12(10):e1590–e1599. DOI: [http://doi.org/10.1016/S2214-109X\(24\)00276-6](http://doi.org/10.1016/S2214-109X(24)00276-6)
2. Skalnaya M. G. Iodine: the biological role and significance for medical practice. *Mikroelementy v meditsine* = Trace Elements in Medicine (Moscow). 2018;19(2):3–11. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.19112/2413-6174-2018-19-2-3-11>
3. Zimmermann M. B. Chapter 25 - Iodine and the iodine deficiency disorders. In: Present Knowledge in Nutrition (Eleventh Edition). Vol. 1: Basic Nutrition and Metabolism. Academic Press: London. 2020. P. 429–441. DOI: <http://doi.org/10.1016/b978-0-323-66162-1.00025-1>
4. Troshina E. A., Makolina N. P., Kolpakova E. A., Nikiforovich P. A., Isaeva M. P., Abdulkhabirova F. M., Platonova N. M. Strukturnye i morfologicheskie kharakteristiki uzlovogo zoba v usloviyakh khronicheskogo defitsita yoda. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* = Clinical and experimental thyroidology. 2023;19(1):20–28. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.14341/ket12748>
5. Luft M. J., Aldrich S. L., Poweleit E., Prows C. A., Martin L. J., DelBello M. P. et al. Thyroid function screening in children and adolescents with mood and anxiety disorders. The Journal of Clinical Psychiatry. 2019;80(5):18m12626. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.18m12626>
6. Hirtz R., Föcker M., Libuda L., Antel J., Öztürk D., Kiewert C. et al. Increased prevalence of subclinical hypothyroidism and thyroid autoimmunity in depressed adolescents: results from a clinical cross-sectional study in comparison to the general pediatric population. The Journal of Clinical Psychiatry. 2021;82(2): 20m13511. DOI: <http://doi.org/10.4088/JCP.20m13511>
7. Damara F. A., Muchamad G. R., Ikhsani R., Syafiyah A. H., Bashari M. H. Thyroid disease and hypothyroidism are associated with poor COVID-19 outcomes: A systematic review, meta-analysis, and meta-regression. *Diabetes & Metabolic Syndrome: Clinical Research & Reviews*. 2021;15(6):102312. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.dsx.2021.102312>
8. Xiong X., Wong C. K., Au I. C., Lai F. T., Li X., Wan E. Y. et al. Safety of inactivated and mRNA COVID-19 vaccination among patients treated for hypothyroidism: a population-based cohort study. Thyroid. 2022;32(5):505–514. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2021.068>
9. Biban B. G., Lichiardopol C. Iodine deficiency, still a global problem? Current Health Sciences Journal. 2017;43(2):103–111. DOI: <http://doi.org/10.12865/CHSJ.43.02.01>
10. Sun D., Codling K., Chang S., Zhang S., Shen H., Su X. et al. Eliminating iodine deficiency in China: achievements, challenges and global implications. Nutrients. 2017;9(4):361. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu9040361>
11. Yao N., Zhou C., Xie J., Li X., Zhou Q., Chen J., Zhou S. Assessment of the iodine nutritional status among Chinese school-aged children. Endocrine Connections. 2020;9(5):379–386. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-19-0568>
12. Farebrother J., Dalrymple K. V., White S. L., Gill C., Brockbank A. et al. Iodine status of pregnant women with obesity from inner city populations in the United Kingdom. European Journal of Clinical Nutrition. 2021;75:801–808. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41430-020-00796-z>

13. Taylor S. R. Abundance of chemical elements in the continental crust: a new table. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1964;28(8):1273–1285. DOI: [http://doi.org/10.1016/0016-7037\(64\)90129-2](http://doi.org/10.1016/0016-7037(64)90129-2)
14. Fuge R., Johnson C. C. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*. 2015;63:282–302. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.013>
15. Suess E., Aemisegger F., Sonke J. E., Sprenger M., Wernli H., Winkel L. H. Marine versus continental sources of iodine and selenium in rainfall at two European high-altitude locations. *Environmental Science & Technology*. 2019;53(4):1905–1917. DOI: <http://doi.org/10.1021/acs.est.8b05533>
16. Wang W., Wang X., Zhang B., Chi Q., Liu Q., Zhou J. et al. Spatial distribution of iodine in the pedosphere of China and its influencing factors. *Journal of Geochemical Exploration*. 2023;248:107191. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.gexplo.2023.107191>
17. Abdel-Moati M. A. Iodine speciation in the Nile River estuary. *Marine Chemistry*. 1999;65(3–4):211–225. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0304-4203\(99\)00003-1](http://doi.org/10.1016/S0304-4203(99)00003-1)
18. Truesdale V. W. The biogeochemical effect of seaweeds upon close-to natural concentrations of dissolved iodate and iodide in seawater: preliminary study with *Laminaria digitata* and *Fucus serratus*. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 2008;78(1):155–165. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ecss.2007.11.022>
19. Smyth P. P. Iodine, seaweed, and the thyroid. *European Thyroid Journal*. 2021;10(2):101–108. DOI: <http://doi.org/10.1159/000512971>
20. Carpenter L. J., Chance R. J., Sherwen T., Adams T. J., Ball S. M., Evans M. J. et al. Marine iodine emissions in a changing world. *Proceedings of the Royal Society A*. 2021;477(2247):20200824. DOI: <http://doi.org/10.1098/rspa.2020.0824>
21. Moriyasu R., Bolster K. M., Hardisty D. S., Kadko D. C., Stephens M. P., Moffett J. W. Meridional survey of the central pacific reveals iodide accumulation in equatorial surface waters and benthic sources in the abyssal plain. *Global Biogeochemical Cycles*. 2023;37(3):e2021GB007300. DOI: <http://doi.org/10.1029/2021GB007300>
22. Gilfedder B. S., Lai S. C., Petri M., Biester H., Hoffmann T. Iodine speciation in rain, snow and aerosols. *Atmospheric Chemistry and Physics*. 2008;8(20):6069–6084. DOI: <http://doi.org/10.5194/acp-8-6069-2008>
23. Van Bergeijk S. A., Hernández L., Zubía E., Cañavate J. P. Iodine balance, growth and biochemical composition of three marine microalgae cultured under various inorganic iodine concentrations. *Marine Biology*. 2016;163:107. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00227-016-2884-0>
24. Ermakov V. V., Kovalsky Yu. V. Living matter of the biosphere: mass and chemical elemental composition. *Geokhimiya*. 2018;(10):931–944. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.1134/S0016752518100060>
25. Popova A. Yu., Tutel'yan V. A., Nikityuk D. B. On the new (2021) norms of physiological requirements in energy and nutrients of various groups of the population of the Russian Federation. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 2021;90(4):6–19. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-4-6-19>
26. Alferova V. I., Mustafina S. V., Rymar O. D. Iodine status of the population in Russia and the world: what do we have for 2019? *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* = Clinical and experimental thyroidology. 2019;15(2):73–82. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/ket10353>
27. Karbownik-Lewińska M., Stępnik J., Iwan P., Lewiński A. Iodine as a potential endocrine disruptor – a role of oxidative stress. *Endocrine*. 2022;78(2):219–240. DOI: <http://doi.org/10.1007/s12020-022-03107-7>
28. Berezkin V. Yu., Glebov V. V., Kayukova E. P. The factors of the low iodine concentration in soil cover and drinking waters of the second ridge of the Mountain Crimea. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* = RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2023;31(4):521–532. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-4-521-532>
29. Shadrin N., Mirzoeva N., Proskurnin V., Anufrieva E. The vertical distribution of 27 elements in bottom sediments reflects the modern history of the hypersaline lagoon. *Regional Studies in Marine Science*. 2023;67:103183. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2023.103183>
30. Bezrukov O. F., Zima D. V., Mikhaylichenko V. Yu., Khabarov O. R., Samarin S. A. Evolution of views on the pathogenesis and surgical treatment of thyroid pathology in the Crimea. *Tavricheskiy mediko-biologicheskiy vestnik*. 2022;25(3):163–167. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.29039/2070-8092-2022-25-3-163-167>
31. Dijk-Brouwer D. J., Muskiet F. A., Verheesen R. H., Schaafsma G., Schaafsma A., Geurts J. M. Thyroidal and extrathyroidal requirements for iodine and selenium: A combined evolutionary and (Patho)Physiological approach. *Nutrients*. 2022;14(19):3886. DOI: <http://doi.org/10.3390/nu14193886>
32. Troshina E. A., Senyushkina E. S., Terekhova M. A. The role of selenium in the pathogenesis of thyroid disease. *Klinicheskaya i eksperimental'naya tireoidologiya* = Clinical and experimental thyroidology. 2018;14(4):192–205. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/ket10157>
33. Evstafeva E. V., Golubkina N. A., Boyarinceva Yu. A., Bogdanova A. M., Tymchenko S. L. Selenium status of urban residents on the territory of the Crimean peninsula. *Gigiena i sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2021;100(2):147–153. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-2-147-153>
34. Taylor P. N., Albrecht D., Scholz A., Gutierrez-Buey G., Lazarus J. H., Dayan C. M., Okosieme O. E. Global epidemiology of hyperthyroidism and hypothyroidism. *Nature Reviews Endocrinology*. 2018;14(5):301–316. DOI: <http://doi.org/10.1038/nrendo.2018.18>
35. Chen X., Liu L., Yao P., Yu D., Hao L., Sun X. Effect of excessive iodine on immune function of lymphocytes and intervention with selenium. *Journal of Huazhong University of Science and Technology-Medical Sciences*. 2007;27(4):422–425. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11596-007-0418-1>

36. Eliseeva T. Selenium (Se) – body and health importance + top 30 sources. *Zhurnal zdorovogo pitaniya i dietologii*. 2022;(19):55–64. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=59159965>
37. Schöne F., Rajendram R. Chapter 16 – Iodine in farm animals. In: Comprehensive handbook of iodine: nutritional, biochemical pathological and therapeutic aspects. Academic: Burlington. Academic Press, 2009. pp. 151–170. DOI: <http://doi.org/10.1016/B978-0-12-374135-6.00016-9>
38. Iannaccone M., Ianni A., Elgendy R., Martino C., Giantin M., Cerretani L. et al. Iodine supplemented diet positively affect immune response and dairy product quality in Fresian cow. *Animals*. 2019;9(11):866. DOI: <http://doi.org/10.3390/ani9110866>
39. Ermakov V. V. Geochemical ecology and biogeochemical criteria for estimating the ecologic state of biospheric taxons. *Geokhimiya*. 2015;(3):203–221. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.7868/S0016752515030061>
40. Pobilat A. E., Voloshin E. I. Monitoring of iodine in the soil - plant system (review). *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2020;(10(163)):101–108. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-10-101-108>
41. Pilov A. Kh., Tarchokov T. T., Poydenko A. A., Miller T. V. Transformation of the cellular composition of the thyroid gland of cows under conditions of iodine deficiency. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*. 2023;17(1):52–60. (In Russ.). DOI: http://doi.org/10.22450/19996837_2023_1_52
42. Petrov A. K., Gnezdilova L. A. Action iodine preparations on blood biochemical parameters and feeding qualities of young sheep. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2015;(1):48–54. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.22363/2312-797X-2015-1-48-54>
43. Rosenfeld L. Discovery and Early Uses of Iodine. *Journal of Chemical Education*. 2000;77(8):984. DOI: <http://doi.org/10.1021/ed077p984>
44. Condo D., Huyhn D., Anderson A. J., Skeaff S., Ryan P., Makrides M. et al. Iodine status of pregnant women in South Australia after mandatory iodine fortification of bread and the recommendation for iodine supplementation. *Maternal & Child Nutrition*. 2017;13(4):e12410. DOI: <http://doi.org/10.1111/mcn.12410>
45. Sindireva A. V., Golubkina N. A., Stepanova O. V., Kekina E. G. The effect of the joint action of selenium and iodine for chemical composition, yield and quality of grain of spring soft wheat in conditions of southern forest-steppe of Omsk region. *Uspekhi sovremennoy nauki*. 2017;2(10):51–57. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29905644>
46. Deltsov A. A., Belova K. O. Analysis of the market of iodine-containing feed additives for animals. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*. 2023;(1):84–92. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202301008>
47. Völzke H. The EU thyroid Consortium: The Krakow Declaration on Iodine: Tasks and responsibilities for prevention programs targeting iodine deficiency disorders. *European Thyroid Journal*. 2018;7(4):201–204. DOI: <http://doi.org/10.1159/000490143>
48. Turrentine J. W. Use of seaweed in the prevention and treatment of goiter. *Endocrinology*. 1924;8(3):409–419. DOI: <http://doi.org/10.1210/endo-8-3-409>
49. Blikra M. J., Aakre I., Rigutto-Farebrother J. Consequences of acute and long-term excessive iodine intake: A literature review focusing on seaweed as a potential dietary iodine source. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2024;23(6):e70037. DOI: <http://doi.org/10.1111/1541-4337.70037>
50. Zava Th. T., Zava D. T. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Research*. 2011;4:14. DOI: <http://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14>
51. Belousov N. M. Efficiency of Gumiton enriched with iodine using in diets of high-producing cows. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2012;(5):61–63. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17734111>
52. Stroeve Yu. I., Churilov L. P. The heaviest bio-element (on the occasion of 200 years since the discovery of iodine). *Biosfera*. 2012;4(3):313–342. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17954326>
53. Nishiyama S., Mikeda T., Okada T., Nakamura K., Kotani T., Hishinuma A. Transient hypothyroidism or persistent hyperthyrotropinemia in neonates born to mothers with excessive iodine intake. *Thyroid*. 2004;14(12):1077–1083. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.1077>
54. Teas J., Pino S., Critchley A. T., Braverman L. E. Variability of iodine content in common commercially available edible seaweeds. *Thyroid*. 2004;14(10):836. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2004.14.836>
55. Bepalov V. G., Tumanyan I. A. Defitsit yoda v pitanii kak mul'tidistsiplinarnaya problema. *Lechashchiy vrach = Lechaschi Vrach Journal*. 2019;(3):8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37085242>
56. Nitschke U., Stengel D. B. Quantification of iodine loss in edible Irish seaweeds during processing. *Journal of Applied Phycology*. 2016;28:3527–3533. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10811-016-0868-6>
57. Mantri V. A., Gajaria T. K., Rathod S. G., Prasad K. A Mini Review on Iodinophyte Seaweed Resources of India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Sciences*. 2024;14:1–12. DOI: <http://doi.org/10.1007/s40011-024-01571-x>
58. El Zokm G. M., Ismail M. M., El-Said G. F. Halogen content relative to the chemical and biochemical composition of fifteen marine macro and micro algae: nutritional value, energy supply, antioxidant potency, and health risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 2021;28:14893–14908. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11356-020-11596-0>

59. Bityutskaya O. E., Bulli L. I., Donchenko L. V. Study of biology and nutritional value of *Ulva rigida* C. Ag. as a promising target species for marine aquaculture. *Rybnoe khozyaystvo* = Fisheries. 2020;(4):94–100. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.37663/0131-6184-2020-4-94-100>
60. Shadrin N. V., Anufrieva E. V. Climate change impact on the marine lakes and their Crustaceans: The case of marine hypersaline Lake Bakalskoye (Ukraine). *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*. 2013;13(4):603–611. DOI: http://doi.org/10.4194/1303-2712-v13_4_05
61. Shadrin N., Latushkin A., Yakovenko V., Prazukin A., Anufrieva E. Daily and other short-term changes in the ecosystem components of the world's largest hypersaline lagoon Bay Sivash (Crimea). *Regional Studies in Marine Science*. 2024;77:103643. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2024.103643>
62. Prazukin A., Shadrin N., Latushkin A., Anufrieva E. Mats of green filamentous alga *Cladophora* in the hypersaline Bay Sivash: distribution, structure, environment-forming role and resource potential. *Regional Studies in Marine Science*. 2025;82:104031. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.rsma.2025.104031>
63. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Biomass of *Cladophora* (Chlorophyta, Cladophorales) is a promising resource for agriculture with high benefits for economics and the environment. *Aquaculture International*. 2024;32:3637–3673. DOI: <http://doi.org/10.1007/s10499-023-01342-x>
64. Marin O. A., Filimon A. *Ulva* species from the Romanian Black Sea Coast—between green blooms and nature's contribution to people. *Cercetări Marine-Recherches Marines*. 2024;54(1):90–103. DOI: <http://doi.org/10.55268/CM.2024.54.90>
65. Shadrin N. V., Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Firsov Yu. K. The method of obtaining feed additives from algae: Patnt RF, no. 2823595, 2024. URL: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet
66. Munir M., Qureshi R., Bibi M., Khan A. M. Pharmaceutical aptitude of *Cladophora*: a comprehensive review. *Algal Research*. 2019;39:101476. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101476>
67. Shamanskaya A. A., Lyakh V. A., Situn N. V., Fedyanina L. N., Smertina E. S. On the issue of the safety of new ingredients based on marine sea algae for the meat industry. *Journal of Agriculture and Environment*. 2020;(3(31)):3. DOI: <http://doi.org/10.23649/jae.2023.31.3.003>
68. Pashtetskaya A. V., Marynich A. P., Ostapchuk P. S., Emel'yanov S. A. Meat productivity of young sheep and dynamics of structural elements of blood on the background of liposomal form of antioxidants. *APK Rossii* = Agro-Industrial Complex of Russia. 2020;27(3):550–556. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tmhaac>
69. Pashtetskiy V. S., Zubochenko D. V., Ostapchuk P. S., Zubochenko A. A. Features of the accumulation of iodine in the muscles of rabbits against the background of the use of antioxidants in liposomal form. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;(5(196)):51–58. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2020-196-5-51-58>
70. Ilyazov R. G., Ostapchuk P. S., Kuevda T. A. Effect of liposomal antioxidants (beta-carotene, omega-3, and organic iodine) on the growth and development of young birds. The current state, problems and prospects of agricultural science development: Proceedings of the IV International scientific and practical conference. Simferopol': *OOO «Izdatel'stvo Tipografiya «Ariall»*, 2019. pp. 340–341. DOI: <http://doi.org/10.33952/09.09.2019.172>
71. Ostapchuk P. S., Shadrin N. V., Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Kuevda T. A., Firsov Yu. K. et al. Effects of the *Cladophora* green filamentous algae supplements in the young rabbits' diet on their growth and development. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2025;25(1):61–73. (In Russ.). DOI: <http://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-01-61-73>
72. Shadrin N. V., Ostapchuk P. S., Kuevda T. A., Prazukin A. V., Firsov Yu. K., Gassiev D. D., Zubochenko D. V., Anufrieva E. V. The effect of adding filamentous green algae *Cladophora* to the diet of rabbits on their blood parameters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1137–1146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146>
73. Gorstein J. L., Bagriansky J., Pearce E. N., Kupka R., Zimmermann M. B. Estimating the health and economic benefits of universal salt iodization programs to correct iodine deficiency disorders. *Thyroid*. 2020;30(12):1802–1809. DOI: <http://doi.org/10.1089/thy.2019.0719>
74. Schaffner M., Rochau U., Mühlberger N., Conrads-Frank A., Rushaj V. Q., Sroczynski G. et al. The economic impact of prevention, monitoring and treatment strategies for iodine deficiency disorders in Germany. *Endocrine Connections*. 2021;10(1):1–12. DOI: <http://doi.org/10.1530/EC-20-0384>
75. Troshina E. A. Elimination of iodine deficiency is a concern for the health of the nation. An excursion into the history, scientific aspects and the current state of the legal regulation of the problem in Russia. *Problemy endokrinologii* = Problems of Endocrinology. 2022;68(4):4–12. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14341/probl13154>

Сведения об авторах

Шадрин Николай Васильевич, кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2580-3710>

Ануфриева Елена Валерьевна, доктор биол. наук, руководитель лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6237-7941>

✉ **Остапчук Павел Сергеевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site; ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: ostapchuk_p@niishk.site

Празукин Александр Васильевич, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9766-6041>

Зубоченко Денис Викторович, кандидат биол. наук, заместитель директора по производству и внедрению инновационных разработок, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

Куведда Татьяна Алексеевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site; ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

Information about the authors

Nickolai V. Shadrin, PhD in Biological Science, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2580-3710>

Elena V. Anufriieva, DSc in Biological Science, Head of the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6237-7941>

✉ **Pavel S. Ostapchuk**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site; A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: ostapchuk_p@niishk.site

Alexander V. Prazukin, DSc in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9766-6041>

Denis V. Zubochenko, PhD in Biological Science, Deputy Director for Production and Implementation of Innovative Developments, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: priemnaya@niishk.site, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

Tatyana A. Kuevda, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: ibss@ibss-ras.ru, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011; e-mail: ibss@ibss-ras.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оплодотворяющая способность сперматозоидов: факторы ее обуславливающие и методы определения (обзор)

© 2025. Т. Ю. Берелет, Е. А. Корочкина✉

ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Оплодотворение – сложный процесс, результатом которого является слияние гамет. Для получения оплодотворяющей способности сперматозоидам необходимо пройти постэякуляционные процессы в репродуктивном тракте самок. К ним относятся капацитация, гиперактивация и акросомальная реакция. Капацитация является сложным процессом, во время которого сперматозоид подвергается различным изменениям метаболизма, внутриклеточных концентраций ионов и других веществ. Основными факторами капацитации являются концентрация внутриклеточных ионов кальция, изменение свойств и структуры плазматической мембраны, pH среды, а также воздействие прогестерона и холестерина на сперматозоид. Возникающая далее гиперактивация приводит к изменению подвижности сперматозоида, вследствие чего он достигает яйцеклетки для дальнейшего проникновения в нее. Затем происходит акросомальная реакция – выброс из акросомы веществ, обеспечивающих проникновение через прозрачную оболочку ооцита. Определить оплодотворяющую способность можно различными методами: НВА-тест основан на связывании сперматозоидов с гиалуроновой кислотой, SpermSlow используется для замедления сперматозоидов в гиалуронсодержащей среде. Целостность акросомы и подвижность сперматозоида можно определить с помощью метода Acrobeads, основанного на образовании у подвижных сперматозоидов комплекса с иммуноглобулинами, покрытыми антителами против белка с внутренней поверхности акросомальной мембраны. Метод SPA позволяет установить функциональную способность сперматозоидов связываться с оболочкой яйцеклетки. Помимо прямых методов, исследующих основные параметры и функции сперматозоида, есть методы, определяющие дополнительные параметры, такие как уровень окислительного стресса и факторов его вызывающих, наличие нарушений в генетическом аппарате мужской гаметы. Уровень окислительного стресса, количество активных форм кислорода можно найти с помощью реакции на тиобарбитуровую кислоту, реакцией с нитросиним тетразолием, путем оценки количества карбонильных производных аминокислотных остатков в белках, хемолюминисцентным анализом. Разрывы в ДНК можно определить тестом TUNEL, метод ДНК-комет используют для идентификации степени повреждения геномной ДНК, метод FISH применяют для анализа хромосомного набора сперматозоида. В шейке матки содержится цервикальная слизь, являющаяся необходимым фактором для оплодотворения. Способность сперматозоидов проникать через нее можно определить с помощью вспомогательных методов, например, swim-up. Его суть заключается в том, что в культуральной среде имитируют естественное перемещение мужских гамет, и отбирают те, которые отвечают требованиям. Концентрацию сперматозоидов и степень их подвижности в цервикальной слизи определяют посткоитальным тестом. Учитывая вышесказанное, и главным образом, доступность использования данных методик, актуальным является разработка отечественных наборов.

Ключевые слова: оценка фертильности, сперматозоид, капацитация, гиперактивация, акросомальная реакция

Благодарности: исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда Содействия Инновациям («Студенческий стартап») (очередь VI), СтС-505397).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Берелет Т. Ю., Корочкина Е. А. Оплодотворяющая способность сперматозоидов: факторы ее обуславливающие и методы определения (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(5):963–974. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.963-974>

Поступила: 18.03.2025

Принята к публикации: 22.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Fertilizing ability of spermatozoa: its conditioning factors and methods of determination (review)

© 2025. Tatiana Y. Berelet, Elena A. Korochkina✉

Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation

Fertilization is a complex process that results in the fusion of gametes. In order to obtain fertilizing ability, spermatozoa need to undergo post-ejaculation processes in the female reproductive tract. These include capacitation, hyperactivation, and acrosomal reaction. Capacitation is a complex process during which the sperm undergoes various changes in metabolism, intracellular concentrations of ions and other substances. The main factors of capacitation are the concentration of intracellular calcium ions, changes in the properties and structure of the plasma membrane, the pH of the medium, as well as the effect of progesterone and cholesterol on the sperm. The resulting hyperactivation leads to a change in the motility of the sperm, as a result of which it reaches the egg for further penetration into it. Then an acrosomal reaction occurs – the release

of substances from the acrosome that ensure penetration through the transparent membrane of the oocyte. The fertilizing ability can be determined by various methods: the HBA test is based on the binding of spermatozoa to hyaluronic acid, SpermSlow is used to slow down spermatozoa in a hyaluronic-containing medium. The integrity of the acrosome and the motility of the sperm can be determined using the Acrobeads method, based on the formation of a complex of motile spermatozoa with immunoglobulins coated with antibodies against the protein from the inner surface of the acrosomal membrane. The SPA method allows us to determine the functional ability of spermatozoa to bind to the egg shell. In addition to direct methods that examine the basic parameters and functions of the sperm, there are methods that determine additional parameters, such as the level of oxidative stress and the factors that cause it, and the presence of disorders in the genetic apparatus of the male gamete. The level of oxidative stress and the amount of reactive oxygen species can be determined by reaction to thio-barbituric acid, reaction with nitrosine tetrazolium, by estimating the amount of carbonyl derivatives of amino acid residues in proteins, and by chemoluminescence analysis. DNA breaks can be detected using the TUNEL test, the DNA comet method is used to identify the degree of damage to genomic DNA, and the FISH method is used to analyze the chromosome set of a sperm cell. The cervix contains cervical mucus, which is a necessary factor for fertilization. The ability of spermatozoa to penetrate through it can be determined using auxiliary methods, for example, swim-up. Its essence lies in the fact that in a cultural environment, the natural movement of male gametes is imitated, and those that meet the requirements are selected. The concentration of spermatozoa and the degree of their motility in the cervical mucus are determined by a postcoital test. Taking into account the availability of these techniques from a logistical point of view, the development of domestic kits is relevant.

Keywords: fertility evaluation, sperm, capacitation, hyperactivation, acrosomal reaction

Acknowledgments: the research was carried out under the financial support of Foundation for Assistance to Innovations (Student Startup (stage VI), StS-505397).

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: Berelet T. Y., Korochkina E. A. Fertilizing ability of spermatozoa: its conditioning factors and methods of determination (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):963–974. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.963-974>

Received: 18.03.2025

Accepted for publication: 22.05.2025

Published online: 31.10.2025

Как известно, результат программ вспомогательных репродуктивных технологий (ВРТ) зависит от качества половых гамет, главным образом, от их оплодотворяющей способности [1, 2].

Оплодотворение – сложный процесс, результатом которого является слияние мужской и женской гамет. Он состоит из последовательных взаимодействий между сперматозоидом, кумулюсным фолликулом, прозрачной оболочкой яйцеклетки и оолеммой [3].

После эякуляции сперматозоиды не считаются полностью сформированными. Для получения оплодотворяющей способности им необходимо пройти постэякуляционные процессы в половых путях самки. К ним относят капацитацию, гиперактивацию и акросомальную реакцию. Если сперматозоиды способны их пройти, то они обладают оплодотворяющей способностью и с высокой вероятностью смогут пройти через слои яйцеклетки и оплодотворить ее [4].

Довольно часто, при проведении стандартных методов оценки качества спермы производителей и определении ее пригодности наблюдается низкая эффективность искусственного осеменения. В этой связи актуальным является проведение дополнительных методов исследований спермы, а именно определение оплодотворяющей способности сперматозоидов.

Цель обзора – проведен анализ данных российских и зарубежных ученых в области оплодотворяющей способности спермы разных видов млекопитающих, факторов ее обуславливающих и методов определения.

Материал и методы. Поиск научных источников российских и зарубежных авторов был выполнен по следующим ключевым словам и словосочетаниям: сперматозоиды, сперма, оплодотворяющая способность, методы оценки. Поиск литературы в рамках данной темы проводили с использованием: поисковых систем Google (<https://www.google.ru>) и Yandex (<https://ya.ru/>); онлайн-каталога GoogleScholar (<https://scholar.google.ru/>); библиотечных ресурсов и баз данных PubMed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>); eLIBRARY.RU (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>); ResearchGate (<https://www.researchgate.net/>); CyberLeninka (<https://cyberleninka.ru/>); Scopus (<https://www.scopus.com/>); WebofScience (<https://apps.webofknowledge.com/>). Всего было рассмотрено не менее 110 научных работ, из которых для анализа и составления научной работы включили 55 источников.

Основная часть. Строение сперматозоидов. Сперматозоид является высокодифференцированной клеткой, в строении которой выделяют головку, шейку и жгутик. В жгутике выделяют следующие части: среднюю, основную и концевую. Он содержит много митохондрий, вырабатывающих энергию в виде аденозин-

трифосфата (АТФ), которая обеспечивает движущую силу сперматозоида. В головке сперматозоида находятся гаплоидное ядро с сильно уплотненным хроматином и экзоцитозная гранула – акросома [5]. Сверху акросому покрывает плазматическая мембрана. Акросома и плазматическая мембрана играют большую роль в процессе оплодотворения. Во время акросомальной реакции происходит усиленный приток ионов кальция, плазматическая мембрана соприкасается с наружной акросомной мембраной, образуя поры, затем они сливаются, формируя гибридный пузырек. Результатом этого процесса является выход содержимого акросомы через образовавшиеся поры [6, 7].

При оплодотворении важную роль играет переживаемость сперматозоидов в половых путях самки. Время жизни сперматозоидов отличается у разных видов животных: среди млекопитающих – у сук составляет порядка 9–11 дней; у крупного рогатого скота – 1,5–2 дня; у кобыл – 4–5 дней; у человека – 5–6 дней. Таким образом, сперма у крупных млекопитающих в среднем сохраняет жизнеспособность 5–6 дней до наступления овуляции. Учет этого фактора при оплодотворении повышает вероятность его успеха¹.

Основные постэякуляторные процессы: капацитация, гиперактивация и акросомальная реакция.

Капацитация сперматозоидов. К. Н. Джа и др. (K. N. Jha et al., 2003) в своей работе пишут, что сперматозоиды млекопитающих во время созревания в семенниках приобретают подвижность, а способность к оплодотворению у них появляется во время капацитации в репродуктивном тракте самок [8].

В своем обзоре К. Маэ, А. М. Злотковска, К. Рейно и др. (C. Mahé, A. M. Zlotkowska, K. Reynaud et al., 2021) приводят в пример исследование, которое показывает, что связаться с эпителиальными клетками маточных труб млекопитающих могут только некапацитированные сперматозоиды, обладающие жизнеспособностью и целостностью акросомы [9].

Считается, что если мужская гамета не имеет возможности распознать гликопротеины блестящей оболочки ооцита и связаться с ними, не реагирует на них акросомальной реакцией, то она не сможет в дальнейшем оплодотворить яйцеклетку [10].

Сперматозоиду необходимо суметь распознать яйцеклетку с помощью углеводно-

белковых взаимодействий, вследствие этого он связывается с блестящей оболочкой ооцита, и возникает акросомальная реакция. Результатом этого процесса является проникновение сперматозоида через блестящую оболочку в яйцеклетку, ее оплодотворение [10].

Во время процесса капацитации мужские гаметы подвергаются изменениям, в результате которых приобретают гиперактивированное движение. Оно необходимо им не только для того, чтобы добраться до ооцита, но и для столкновения яйцеклетки и сперматозоида. Последнее способствует соединению гамет для их дальнейшего взаимодействия [10].

Капацитация возникает после воздействия сигнальных веществ на сперматозоиды в репродуктивном тракте самок.

По мнению Н. К. Бернечич, Б. М. Гаделла, Т. Лихи, С. П. де Грааф (N. C. Bernecic, B. M. Gadella, T. Leahy, S. P. de Graaf, 2019), единственным фактором, указывающим на успешное прохождение процесса капацитации, является способность сперматозоида связываться с блестящей оболочкой ооцита и оплодотворять его [11].

Во время капацитации сперматозоид подвергается воздействию различных механизмов подготовки его к активации и оплодотворению. Активировать мужскую гамету могут реакции фосфорилирования блестящей оболочки, которые переводят сперматозоид из стабильного состояния в активное [10].

Капацитация – это комплекс изменений, которым подвергается сперматозоид в репродуктивном тракте самок. Эти изменения включают в себя такие процессы, как реорганизация мембранных белков, изменение метаболизма фосфолипидов мембраны, снижение количества мембранного холестерина. Происходит модификация подвижности сперматозоидов, называемая гиперактивацией, обеспечивающая им возможность прохождения вверх по маточным трубам, а также являющаяся движущей силой, необходимой для проникновения через прозрачную оболочку ооцита [12, 13]. Капацитацию рассматривают как сложный процесс, включающий в себя изменения метаболизма сперматозоида, концентрации внутриклеточных ионов, внутриклеточной реакции среды, концентрации активных форм водорода. Результатом этих изменений является появление оплодотворяющей способности у сперматозоида [8].

¹Сэнджер Ф. Л. Животные: от беременности к родам: учебное пособие. Науч. ред. пер. с англ. К. В. Племяшов. СПб.: ВНИИГРЖ-ПРОФ, 2019. 336 с.

Факторы капацикации. Фактором, активирующим процесс капацикации, считается увеличение концентрации внутриклеточных ионов кальция, бикарбонатов и пероксида водорода, которые в комплексе инициируют выработку циклического аденозинмонофосфата (цАМФ) аденилатциклазой. После этого происходит активация протеинкиназы А, которая является необходимым компонентом для фосфорилирования белков [12].

Изменения затрагивают также плазматическую мембрану сперматозоида: происходит ее дестабилизация, распределение в ней липидов, фосфолипидов и других молекул. Эти процессы в дальнейшем приводят к увеличению текучести мембраны [12, 14].

Важным веществом, оказывающим влияние на процессы капацикации и акросомальной реакции, является кальций. Он также считается основным посредником в обмене информацией между сперматозоидом и яйцеклеткой [15].

Холестерол является фактором, отвечающим за стабилизацию цитоплазматической мембраны мужской гаметы. Он образует контакт с фосфолипидами мембраны, снижая таким образом ее проницаемость и текучесть [16]. Во время капацикации происходит выход холестерина мембраны, изменение концентрации ионов кальция и цинка внутри клетки, повышение внутриклеточной реакции среды и фосфорилирование тирозина. Эти изменения необходимы клетке для активации дальнейших процессов, приводящих к оплодотворению ооцита [17]. С. К. Джин, У. Х. Янг (S. K. Jin, W. X. Yang, 2017) отмечают, что отток холестерина из мембраны сперматозоидов вызывает снижение подвижности, изменения в текучести и перераспределение липидов мембраны мужской гаметы, что в совокупности способствует капацикации [18]. Перестройка фосфолипидов плазматической мембраны половой клетки в дальнейшем обуславливает связывание сперматозоидов с прозрачной оболочкой и таким образом способствует возникновению акросомальной реакции [19].

В процессе капацикации в мужской гамете происходит образование активных форм кислорода (АФК) в определенном количестве, вследствие чего запускается механизм молекулярных изменений. Под воздействием бикарбонатов происходит преобразование АТФ в цАМФ [20]. Увеличение концентрации цАМФ является важным фактором для активации ферментов, фосфорилирования белков

и контролирования процесса экспрессии генов в дальнейшем [21]. Повышение уровня цАМФ также приводит к появлению у половой клетки гиперактивированного движения. Во время гиперактивации у сперматозоида появляется увеличение подвижности, необходимое для прохождения следующих процессов, приводящих к появлению оплодотворяющей способности [22].

Важное значение в процессе индукции капацикации играет pH среды и спермы. Для возникновения капацикации необходимо внутриклеточное ощелачивание, которое происходит по мере продвижения сперматозоидов по репродуктивному тракту самок [18].

Лабораторные наблюдения за мышами показали, что капацитация и акросомальная реакция у большинства сперматозоидов возникают во время продвижения их от перешейка к ампуле. Это дает возможность пересмотреть мнение о том, что акросомальную реакцию сперматозоидов вызывает именно блестящая оболочка ооцита [23].

Гиперактивация. Для того чтобы оплодотворение произошло, сперматозоиду необходимо добраться до ооцита и суметь прикрепиться к нему. Это происходит благодаря процессу гиперактивации [10].

Гиперактивация – процесс биохимического преобразования сперматозоидов, который проявляется в виде изменений характера их подвижности.

С. С. Суарес (S. S. Suarez, 2008) выделяет гиперактивацию сперматозоидов как подкатегорию капацикации. В процессе капацикации мембрана мужской гаметы подвергается структурным изменениям, к которым относятся увеличение текучести мембраны под действием альбумина и повышение ее проницаемости. Это в совокупности приводит к увеличению притока бикарбонатов и ионов кальция, следствием чего является возникновение гиперактивации. Ученые описывают гиперактивацию как состояние мужских гамет, при котором они становятся крайне подвижными. В результате данного процесса сперматозоид производит высокоамплитудные и ассиметричные движения жгутиком, движется по неправильной траектории, и смещает головку из стороны в сторону. Благодаря гиперактивации сперматозоид становится способным достичь ампулярной части маточной трубы для дальнейшего проникновения в яйцеклетку [24, 25, 26].

После гиперактивации наблюдается связывание сперматозоида с блестящей оболочкой яйцеклетки и запускается акросомальная реакция – процесс взаимодействия внешней и внутренней мембран акросомы с последующим экзоцитозом различных ферментов [27].

Гиперактивация играет важную роль в проникновении через блестящую оболочку ооцита. Это было доказано путем проведения исследования на мышах, в котором предотвращали гиперактивацию у сперматозоидов, не затрагивая акросомальную реакцию. В результате эксперимента гиперактивные гаметы были более успешны в оплодотворении, в отличие от негиперактивных [28, 29].

Для гиперактивации необходимо наличие щелочной реакции среды. Передвижение сперматозоидов по половым путям самок регулируется ионными каналами. В процессе гиперактивации возникает особый вид движения мужской половой клетки против тока жидкости – реотаксис, в результате которого сперматозоид достигает яйцеклетки и может проникнуть в ее прозрачную зону [25].

Гиперактивацию инициируют активные формы кислорода. Эти данные были получены путем инкубации сперматозоидов в среде с низкими концентрациями гидроксида водорода, в результате чего у половых клеток возникала гиперактивация [30].

А. Агарвал и др. (A. Agarwal et al., 2014) отмечают, что во время акросомальной реакции совершаются процессы, схожие с процессами, происходящими при капацитации. АФК во время акросомальной реакции необходимы сперматозоидам для воздействия на блестящую оболочку путем фосфорилирования белков плазматической мембраны. Это было доказано проведением исследования *in vitro*: акросомальная реакция активировалась при добавлении в семенную жидкость физиологических концентраций АФК, таких как пероксид водорода, оксид азота, супероксид [22].

На поверхности сперматозоидов имеются углевод-связывающие белки, посредством которых они взаимодействуют с олигосахаридными комплексами блестящей оболочки яйцеклетки. Таким образом происходит процесс распознавания ооцита. При связывании белков и лигандов активируется цикл сигнальных реакций, который приводит к акросомальной реакции. Результатом этих процессов является проникновение сперматозоида через блестящую оболочку ооцита [13].

Акросомальная реакция – является рецепторопосредованным процессом выброса содержимого акросомы, который дает мужской гамете возможность пройти через оболочки ооцита [31].

Во время акросомальной реакции происходит выход таких веществ, как протеазы и гиалуронидаза, которые в совокупности помогают сперматозоиду проникнуть через прозрачную оболочку яйцеклетки для дальнейшего ее оплодотворения [32].

Э. Балди и др. (E. Baldi et al., 1998) выделяют прогестерон как один из главных стимулов акросомальной реакции, так как его количество в месте оплодотворения является достаточно большим. Данный гормон оказывает влияние на такие процессы и функции мужской гаметы, как подвижность, капацитация и акросомальная реакция. Было обнаружено, что реакция сперматозоидов на прогестерон у инфертильных мужчин происходит с нарушениями. Это имеет связь с вероятной возможностью оплодотворения яйцеклетки, а также может использоваться при оценке оплодотворяющей способности мужских гамет [33].

Важную роль в регуляции выброса веществ из акросомы играет внутриклеточный кальций. Одними из факторов индукции акросомальной реакции считаются такие вещества, как гликопротеин блестящей оболочки ооцита, прогестерон и кальций-ионофоры. Результатом действия этих веществ является повышение межклеточной концентрации ионов кальция и усиление притока этих ионов из внешней среды [12].

Роль АФК в акросомальной реакции была доказана путем добавления физиологических концентраций кислорода, перекиси водорода и оксида азота в семенную плазму. В результате этого эксперимента у сперматозоидов наблюдалась активация акросомальной реакции [22].

Считается, что акросомальная реакция должна возникать непосредственно вблизи яйцеклетки после некоторых биохимических изменений, происходящих в процессе капацитации, а также после индукции различными веществами и процессами, такими как взаимодействие с прозрачной оболочкой ооцита, воздействие ионов кальция, активных форм кислорода, прогестерона [34]. Одним из факторов, необходимых для возникновения акросомальной реакции, является образование F-актина, происходящее во время процесса капацитации, а затем его диспергирование [35].

В случае нарушения или прекращения образования F-актина при капацитации формируется спонтанная акросомальная реакция – она происходит до достижения сперматозоидом ооцита и без каких-либо стимулирующих факторов. Следствием этого является невозможность возникновения процесса оплодотворения [36].

В нескольких исследованиях было описано, что интактная акросома необходима спермиям мышей для хемотаксиса и сближения с ооцитом, вследствие этого был сделан вывод о том, что сперматозоиды со спонтанной акросомной реакцией не будут реагировать на химические сигналы от яйцеклетки, а значит не смогут к ней прикрепиться и оплодотворить ее [34, 35, 37].

Исследование сперматозоидов на качество акросомальной реакции (спонтанной и физиологической) необходимо, так как степень спонтанной акросомальной реакции имеет отрицательную корреляцию с частотой наступления беременности, а также с получением нормального потомства [35, 38].

Методы оценки оплодотворяющей способности. Учитывая важность постэякуляционных процессов, актуальным является определение оплодотворяющей способности сперматозоидов. Одним из методов оценки является спермограмма.

Стандартная спермограмма не дает 100%-й гарантии того, что сперматозоиды обладают оплодотворяющей способностью, потому что оцениваются только внешние их характеристики. Эти данные дают возможность получить общее представление о качестве спермы, однако не дают информации о других важных параметрах, также имеющих значение для оплодотворения яйцеклетки. Таким образом, даже при нормальной спермограмме оплодотворение может не произойти [22]. В связи с этим, при наличии низкой эффективности искусственного осеменения, а также определения репродуктивного потенциала самцов-производителей актуальным является детальное изучение фертильного статуса сперматозоидов.

Известно, что гиалуроновая кислота является одним из основных компонентов наружной (внеклеточной) оболочки яйцеклетки – лучистого венца. Зрелый сперматозоид должен обладать способностью связываться с этим веществом для возможности оплодотворения. Поэтому оценка реакции связывания сперматозоида с гиалуроновой кислотой явля-

ется важным критерием при определении его оплодотворяющей способности.

На сегодняшний день одним из таких методов является НВА-тест (анализ связывания гиалуроновой кислоты). Методика теста заключается в наложении небольшого количества спермы на предметное стекло, на котором уже присутствует гиалуроновая кислота. Сперматозоиды должны связаться с ней посредством имеющихся на их мембране рецепторов. При связывании гаметы будут останавливаться в одном месте, продолжая активно двигать хвостиком. Незрелые сперматозоиды не имеют рецепторов к гиалуроновой кислоте, вследствие чего они будут продолжать свое движение без остановки. По истечении нескольких минут производят подсчет связанных подвижных и общих подвижных клеток с использованием фазово-контрастной микроскопии [26].

Данный тест используется для оценки зрелости сперматозоидов, их способности оплодотворить яйцеклетку.

Другой тест – SpermSlow – метод определения связывания сперматозоидов с гиалуроновой кислотой. SpermSlow – это вязкая среда, содержащая гиалуроновую кислоту, в которой зрелые сперматозоиды резко замедляют свое движение, что обеспечивает возможность отобрать их для дальнейшего использования [39].

Оплодотворяющая способность мужской гаметы зависит от разных факторов, одним из них является способность к акросомальной реакции.

К. Охашаи и др. (K. Ohashi et al., 1995) предлагают в качестве диагностики оплодотворяющей способности тест Acrobeads. С помощью него определяют экспрессию молекулы белка CD46 на внутренней акросомальной мембране после акросомальной реакции. Методика заключается в том, что подвижные сперматозоиды образуют комплекс с иммуноглобулинами, покрытыми моноклональными антителами МН61 против белка CD46. По мере развития акросомальной реакции комплекс сперматозоид-иммуноглобулин становится больше, сам процесс можно наблюдать в виде агглютинации с помощью фазово-контрастного микроскопа. Комплекс образуется только в случае целостности акросомы и нормальной подвижности мужской гаметы. В результате тест можно использовать для оценки сразу двух факторов оплодотворяющей способности – подвижность и функционирование головки [40].

А. Хершлаг и др. (A. Hershlag et al., 1997) провели исследование, в котором сравнивали результаты теста Acrobeds с результатами окрашивания TRITC-PSA. Тест Acrobeds не имел достоверной корреляции со скоростью осеменения и количеством сперматозоидов, подвергшихся спонтанной акросомной реакции. Исходя из этого был сделан вывод о том, что метод Acrobeds не рекомендован к повседневному использованию в качестве диагностики оплодотворяющей способности сперматозоидов и может использоваться только как дополнительный метод исследования [41].

Одним из популярных методов определения оплодотворяющей способности сперматозоидов является анализ на проникновение сперматозоидов (SPA) с использованием ооцитов хомяка, не содержащих прозрачную оболочку [40]. SPA (Sperm Penetration Assay) – многоэтапный сложный тест для определения функциональной способности сперматозоида связываться с оболочкой яйцеклетки, проникать в нее и подвергаться деконденсации. К подготовленным ооцитам хомяка добавляют тестируемые сперматозоиды, инкубируют их и измеряют количество мужских гамет, проникших в яйцеклетку. В процессе теста также проводится анализ способности данных клеток подвергаться необходимым для оплодотворения реакциям (капацитация, гиперактивация и акросомальная реакция) [42]. Его проводят редко по причине отсутствия экономической выгоды, высокой трудоемкости, присутствия достаточного количества ложноотрицательных результатов [43].

Факторы, влияющие на оплодотворяющую способность сперматозоидов. На оплодотворяющую способность могут оказывать влияние нарушения обмена веществ в организме. В своей работе Х. Чемлал и др. (H. Chemlal et al., 2020) описали влияние гликемии на мужскую фертильность. По результатам их исследования было выявлено, что плазма людей, больных диабетом, воздействует на все параметры подвижности сперматозоидов, а наиболее отрицательное воздействие оказывает высокий уровень гликолизированного гемоглобина (HbA_{1c}) – необратимое соединение гемоглобина эритроцитов с глюкозой [44]. Таким образом, помимо основных параметров спермограммы, людям с диабетом необходимо проводить также анализ на уровень гликемии. Для определения фертильности сперматозоидов в данном случае можно сделать тест

на окислительный стресс (ОС), например, проверить уровень ОС с помощью реакции на тиобарбитуровую кислоту. Его суть заключается в связывании этого вещества со стабильными продуктами окисления [45].

Окислительный стресс является важным фактором, влияющим на фертильность сперматозоидов. Для сохранения функции мужских гамет необходимо небольшое количество активных форм кислорода, однако превышение их уровня негативно воздействует на качество сперматозоидов и их оплодотворяющую способность, так как повреждаются структурная целостность клетки, ее ДНК, белки, липиды, нарушаются ферментативные системы [22]. АФК играют важную роль в постэякуляционных процессах – капацитации, гиперактивации и акросомальной реакции. Поэтому важно проводить оценку количества АФК, так как если их показатели выходят за пределы нормы – возникают нарушения в процессе оплодотворения, вызванные окислительным стрессом [46]. Во время ОС превышение количества АФК будет подавлять антиоксидантную систему организма, воздействуя на ДНК, липиды, белки сперматозоидов, влияя на ферментативные системы, вызывая необратимые изменения и приводить к гибели клетки [22].

Наиболее простой метод измерения количества АФК сперматозоидов – реакция с нитросиним тетразолием с применением световой микроскопии. Суть метода заключается в превращении реагента в синий пигмент при взаимодействии с супероксидом, который выделяется сперматозоидом [45].

В качестве тестов на окислительный стресс также используется оценка количества карбонильных производных аминокислотных остатков в белках. Данные соединения являются хорошим показателем для определения изменения белков под действием окислителей. Метод оценки заключается в проведении реакции между спермой и 2,4-динитрофенилгидразином, в результате которой образуются вещества, обладающие узким спектром поглощения в видимой и ультрафиолетовой частях спектра [45].

В своем обзоре М. М. Атрошенко и Д. В. Медведев (2023) предлагают хемотропно-флуоресцентный анализ для прямого измерения генерации активных форм кислорода сперматозоидами. С помощью этого метода измеряются внутриклеточные и внеклеточные АФК, для чего используют прибор люминометр

в совокупности с хемилюминисцентным зондом, например, люминолом. Люминол является крайне чувствительным веществом, и поэтому вступает в реакцию с различными АФК при нейтральном pH. В результате взаимодействия свободных радикалов с люминолом образуется световой сигнал, который преобразуется в фотон и улавливается люминометром. Измеряется количество фотонов в минуту [45, 22].

Окислительные процессы могут приводить к повреждению хроматина в ядре сперматозоида, что может повлечь за собой различные нарушения генетического аппарата клетки и нарушению ее оплодотворяющей способности. В ДНК встречаются такие нарушения, как одноцепочечные и двуцепочечные разрывы нитей. Первые появляются в результате повреждения ДНК продуктами окисления, а вторые являются результатом воздействия на ДНК продуктов липопероксидации [47]. Нарушения в виде 1- и 2-цепочечных разрывов можно обнаружить с помощью метода TUNEL (маркировка терминальной трансферазы dUTP Nick End). Метод основан на идентификации разрывов ДНК путем добавления к исследуемым клеткам терминальной дезоксиинуклеотидилтрансферазы – этот фермент катализирует присоединение меченых флуорохромом дезоксиинуклеотидов к концам разрывов цепи ДНК. Далее с помощью проточной цитометрии измеряют флуоресцентный сигнал, который прямо пропорционален фрагментации ДНК у анализируемых сперматозоидов [48]. Данный метод позволяет быстро и качественно оценить, и измерить порядка 10000 клеток [49].

Для идентификации степени повреждения геномной ДНК также используется метод ДНК-комет, основанный на миграции разорванных нитей ДНК к аноду в агаровом геле во время электрофореза [49]. Клетки помещают в агарозный гель, обрабатывают лизирующим раствором и ферментами, специфичными к конкретным нарушениям. Запускается процесс электрофореза, в результате которого ДНК выходит из клетки и движется в направлении анода. По мере движения образуется шлейф, наблюдаемый в флуоресцентный микроскоп. Чем больше разрывов в ДНК, тем сильнее выражено движение ее фрагментов. После этого стекла с ДНК нейтрализуют и окрашивают для визуализации с использованием флуоресцентного микроскопа. Если практически вся ДНК фрагментирована, то чаще всего такая клетка является мертвой. В результате движения ДНК

образуется дисперсионный рисунок, напоминающий хвост кометы [50].

Для определения сперматозоидов, которые способны проникать через цервикальную слизь, используют метод swim-up, имитирующий естественное перемещение сперматозоидов в культуральной среде [26]. Методика заключается в следующем: отбирают эякулят, добавляют к нему равный объем буфера для гамет, центрифугируют. После удаляют надосадочную жидкость, осадок ресуспендируют в буфере для гамет. Снова удаляют супернатант, на осадок наслаивают среду для сперматозоидов и инкубируют. Отбирают надосадочную жидкость со всплывшими гаметами в чистую пробирку, затем подсчитывают концентрацию спермиев [51].

Определить концентрацию и степень подвижности сперматозоидов в цервикальной слизи можно с помощью посткоитального теста. Суть его заключается в исследовании этих факторов в гиалуроновом полимере (аналог цервикальной слизи). Учеными была доказана статистическая взаимосвязь между проникновением гаметы через полимер и его способностью к слиянию с яйцеклеткой [27].

Нарушения в хромосомном материале могут приводить к снижению оплодотворяющей способности сперматозоидов. Исследования показали, что сперматозоиды с высокими показателями хромосомных аномалий, таких как анеуплоидия, имеют более низкие показатели оплодотворения, чем нормальные [52]. Анализ хромосомного набора сперматозоида можно проводить путем FISH (флуоресцентная гибридизация in situ) -диагностики с использованием флуоресцентных зондов. Этим методом можно определить изменения, возникшие в ядрах мужской гаметы, а также проследить за количеством спермиев с аномалиями в хромосомах. Суть метода заключается в использовании флуоресцентных зондов – коротких последовательностей ДНК, меченых флуоресцентной меткой, которые комплементарны последовательностям ДНК исследуемых аберрантных хромосом, то есть для разных аномалий используются разные ДНК-зонды. Для обеспечения доступа зондов к хроматину ядра сперматозоидов частично деконденсируют в лизирующем растворе. ДНК-зонды связываются с комплементарной последовательностью, в результате чего образуется специфическое свечение, позволяющее судить о наличии аберрантных хромосом. Обнаружить свечение

можно с помощью флуоресцентного микроскопа. При отсутствии хромосомной аномалии несвязанные зонды отмываются в процессе реакции, а свечение не обнаруживается [53].

Метод количественного кариологического анализа, предложенный Л. Ф. Курило и соавторами (1993), используется для анализа незрелых гамет. Суть метода заключается в подсчете клеток, которые проходят разные стадии мейоза или дифференцировки. С помощью него можно изучить процесс сперматогенеза, определить количество незрелых половых клеток и найти стадию, на которой произошло нарушение [54, 55].

Заключение. Проводя анализ данных, нужно отметить, что оплодотворяющая способность сперматозоидов является ключевым критерием успешности проведения искусственного осеменения. Сперматозоид приобретает фертильность при завершении постэякуляционных процессов, таких как капацитация, гиперактивация и акросомальная реакция. В этой связи первоочередной задачей является

определение фертильного статуса сперматозоидов, используя достоверные и информативные методы. К ним относятся НВА-тест, SpermSlow, SPA, Acrobeads, Swim-up, TUNEL, FISH, реакции на окислительный стресс, определение АФК. Одним из наиболее достоверных на данный момент считается НВА-тест, который помогает в определении уровня зрелости сперматозоидов, а, следовательно, и способности оплодотворения ооцита. Акросомальная реакция также играет большую роль в процессе оплодотворения, так как ее результатом является проникновение через прозрачную оболочку ооцита и дальнейшее его оплодотворение. Для определения целостности акросомы, без которой не будет нормальной акросомальной реакции, используют тест Acrobeads – фиксируют образование комплекса подвижных сперматозоидов с иммуноглобулинами. Учитывая сложность реализации данных методик с материально-технической точки зрения, а также высокую стоимость, актуальным является разработка отечественных наборов.

References

1. Peñagaricano F. Genomics and Dairy Bull Fertility. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2024;40(1):185–190. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2023.08.005>
2. Rahman M. S., Kwon W. S., Pang M. G. Prediction of male fertility using capacitation-associated proteins in spermatozoa. *Molecular Reproduction Development*. 2017;84(9):749–759. DOI: <https://doi.org/10.1002/mrd.22810>
3. Morales P., Llanos M. Interaction of human spermatozoa with the zona pellucida of oocyte: development of the acrosome reaction. *Frontiers in Bioscience Landmark*. 1996;1(4):146–160. DOI: <https://doi.org/10.2741/a122>
4. Xu F., Guo G., Zhu W., Fan L. Human sperm acrosome function assays are predictive of fertilization rate in vitro: a retrospective cohort study and metaanalysis. *Reproductive Biology and Endocrinology*. 2018;16(1):81. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12958-018-0398-y>
5. Teves M. E., Roldan E. R. S. Sperm bauplan and function and underlying processes of sperm formation and selection. *Physiological Reviews*. 2022;102(1):7–60. DOI: <https://doi.org/10.1152/physrev.00009.2020>
6. Брагина Е. Е. Интерпретация спермограммы. Структура и функция сперматозоидов в норме и при нарушении фертильности. М.: Изд-во «Практическая медицина», 2024. 240 с.
7. Bragina E. E. Interpretation of the spermogram. Structure and function of spermatozoa in normal and in case of fertility disorders. Moscow: *izd-vo «Prakticheskaya meditsina»*, 2024. 240 p.
8. Flesch F. M., Gadella B. M. Dynamics of the mammalian sperm plasma membrane in the process of fertilization. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – Reviews on Biomembranes*. 2000;1469(3):197–235. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0304-4157\(00\)00018-6](https://doi.org/10.1016/s0304-4157(00)00018-6)
9. Jha K. N., Kameshwari D. B., Shivaji S. Role of signaling pathways in regulating the capacitation of mammalian spermatozoa. *Cellular and molecular biology (Noisy-le-grand)*. 2003;49(3):329–340.
10. Mahé C., Zlotkowska A. M., Reynaud K., Tsikis G., Mermillod P., Druart X. et al. Sperm migration, selection, survival, and fertilizing ability in the mammalian oviduct†. *Biology of Reproduction*. 2021;105(2):317–331. DOI: <https://doi.org/10.1093/biolre/ioab105>
11. Töpfer-Petersen E., Petrounina A. M., Ekhlesi-Hundrieser M. Oocyte-sperm interactions. *Animal Reproduction Science*. 2000;60-61:653–662. DOI: [https://doi.org/10.1016/s0378-4320\(00\)00128-7](https://doi.org/10.1016/s0378-4320(00)00128-7)
12. Bernecic N. C., Gadella B. M., Leahy T., de Graaf S. P. Novel methods to detect capacitation-related changes in spermatozoa. *Theriogenology*. 2019;137:56–66. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2019.05.038>
13. Witte T. S., Schäfer-Somi S. Involvement of cholesterol, calcium and progesterone in the induction of capacitation and acrosome reaction of mammalian spermatozoa. *Animal Reproduction Science*. 2007;102(3-4):181–193. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anireprosci.2007.07.007>

13. Yanagimachi R. Fertility of Mammalian Spermatozoa: Its Development and Relativity. *Zygote*. 1994;2(4):371–372. DOI: <https://doi.org/10.1017/s0967199400002240>
14. Cross N. L. Decrease in order of human sperm lipids during capacitation. *Biology of Reproduction*. 2003;69(2):529–534. DOI: <https://doi.org/10.1095/biolreprod.102.013052>
15. Darszon A., López-Martínez P., Acevedo J. J., Hernández-Cruz A., Treviño C. L. T-type Ca²⁺ channels in sperm function. *Cell Calcium*. 2006;40(2):241–252. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cecc.2006.04.028>
16. Денисенко В. Ю., Кузьмина Т. И., Бойцева Е. Н. Индукция капацитации бычьих сперматозоидов до криоконсервации повышает их жизнеспособность после размораживания. *Гены и клетки*. 2018;13(2):72–76. DOI: <https://doi.org/10.23868/201808023> EDN: YWRTQD
- Denisenko V. Yu., Kuzmina T. I., Boytseva E. N. Induction of capacitation of bovine spermatozoa before cryopreservation increases their viability after thawing. *Geny i kletki* = Genes & Cells. 2018;13(2):72–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23868/201808023>
17. Leemans B., Stout T. A. E., De Schauwer C., Heras S., Nelis H., Hoogewijs M. et al. Update on mammalian sperm capacitation: How much does the horse differ from other species? *Reproduction*. 2019;157(5):R181–R197. DOI: <https://doi.org/10.1530/REP-18-0541>
18. Jin S. K., Yang W. X. Factors and pathways involved in capacitation: how are they regulated? *Oncotarget*. 2017;8(2):3600–3627. DOI: <https://doi.org/10.18632/oncotarget.12274>
19. Boerke A., Tsai P. S., Garcia-Gil N., Brewis I. A., Gadella B. M. Capacitation-dependent reorganization of microdomains in the apical sperm head plasma membrane: functional relationship with zona binding and the zona-induced acrosome reaction. *Theriogenology*. 2008;70(8):1188–1196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2008.06.021>
20. Hess K. C., Jones B. H., Marquez B., Chen Y., Ord T. S., Kamenetsky M. et al. The “soluble” adenylyl cyclase in sperm mediates multiple signaling events required for fertilization. *Developmental Cell*. 2005;9(2):249–259. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.devcel.2005.06.007>
21. Tsai W. W., Niessen S., Goebel N., Yates J. R., Guccione E., Montminy M. PRMT5 modulates the metabolic response to fasting signals. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2013;110(22):8870–8875. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1304602110>
22. Agarwal A., Virk G., Ong C., du Plessis S. S. Effect of oxidative stress on male reproduction. *The World Journal of Men's Health*. 2014;32(1):1–17. DOI: <https://doi.org/10.5534/wjmh.2014.32.1.1>
23. La Spina F. A., Puga Molina L. C., Romarowski A., Vitale A. M., Falzone T. L. et al. Mouse sperm begin to undergo acrosomal exocytosis in the upper isthmus of the oviduct. *Developmental Biology*. 2016;411(2):172–182. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.02.006>
24. Suarez S. S. Control of hyperactivation in sperm. *Human Reproduction Update*. 2008;14(6):647–657. DOI: <https://doi.org/10.1093/humupd/dmn029>
25. Беляева Л. А., Шурыгина О. В., Жилкина М. П., Миронов С. Ю., Кулакова О. В., Бовтунова С. С., Шурыгина А. С. Гиперактивация сперматозоидов и ее роль в процессе оплодотворения. *Acta Medica Eurasica*. 2024;(1):74–81. DOI: <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2024-1-74-81> EDN: PXYRYW
- Belyaeva L. A., Shurygina O. V., Zhilkina M. P., Mironov S. Yu., Kulakova O. V., Bovtunova S. S., Shurygina A. S. Hyperactivation of spermatozoa and its role in the fertilization process. *Acta Medica Eurasica*. 2024;(1):74–81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47026/2413-4864-2024-1-74-81>
26. Marchlewska K., Erkiert-Kusiak M., Walczak-Jędrzejowska R., Słowikowska-Hilczek J. Sperm Migration and Hyaluronic Acid Binding: Implications for Male Fertility Evaluation. *International Journal of Molecular Sciences*. 2024;25(18):9995. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms25189995>
27. Федорова И. Д., Кузнецова Т. В. Генетические факторы мужского бесплодия. *Журнал акушерства и женских болезней*. 2007;56(1):64–72. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9483636> EDN: HEUFLB
- Fedorova I. D., Kuznetsova T. V. Geneticheskie faktory muzh-skogo besplodiya. *Zhurnal akusherstva i zhen-skikh bolezney* = Journal of obstetrics and women's diseases. 2007;56(1):64–72. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9483636>
28. Stauss C. R., Votta T. J., Suarez S. S. Sperm motility hyperactivation facilitates penetration of the hamster zona pellucida. *Biology of reproduction*. 1995;53(6):1280–1285. DOI: <https://doi.org/10.1095/biolreprod53.6.1280>
29. Ho H. C., Suarez S. S. Hyperactivation of mammalian spermatozoa: function and regulation. *Reproduction*. 2001;122(4):519–526. DOI: <https://doi.org/10.1530/rep.0.1220519>
30. Makker K., Agarwal A., Sharma R. Oxidative stress & male infertility. *Indian Journal of Medical Research*. 2009;129(4):357–367.
31. Tesarik J. Acrosome reaction testing. Report of the consensus workshop on advanced diagnostic andrology techniques. ESHRE, Andrology Special Interest Group Hum. Reprod, 1996. Vol. 11. pp. 1463–1479.
32. Ramalho-Santos J., Schatten G., Moreno R. D. Control of membrane fusion during spermiogenesis and the acrosome reaction. *Biology of Reproduction*. 2002;67(4):1043–1051. DOI: <https://doi.org/10.1095/biolreprod67.4.1043>

33. Baldi E., Luconi M., Bonaccorsi L., Forti G. Nongenomic effects of progesterone on spermatozoa: mechanisms of signal transduction and clinical implications. *Frontiers in Bioscience Landmark*. 1998;3(4):1051–1059. DOI: <https://doi.org/10.2741/a345>
34. Bowker Z., Goldstein S., Breitbart H. Protein acetylation protects sperm from spontaneous acrosome reaction. *Theriogenology*. 2022;191:231–238. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.theriogenology.2022.08.005>
35. Breitbart H., Grinshtein E. Mechanisms That Protect Mammalian Sperm from the Spontaneous Acrosome Reaction. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(23):17005. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms242317005>
36. Shabtay O., Breitbart H. CaMKII prevents spontaneous acrosomal exocytosis in sperm through induction of actin polymerization. *Developmental Biology*. 2016;415(1):64–74. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ydbio.2016.05.008>
37. Guidobaldi H. A., Hirohashi N., Cubilla M., Buffone M. G., Giojalas L. C. An intact acrosome is required for the chemotactic response to progesterone in mouse spermatozoa. *Molecular Reproduction and Development*. 2017;84(4):310–315. DOI: <https://doi.org/10.1002/mrd.22782>
38. Xuan X. J., Xu C., Zhao Y. R., Wu K. L., Chen T., Zhang H. B. et al. Application of spontaneous acrosome reaction of sperm in prediction of outcome of in-vitro fertilization and embryo transfer. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi*. 2016;96(16):1285–1288. DOI: <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.0376-2491.2016.16.013>
39. Назаренко Р. В., Здановский В. М. Методы селекции сперматозоидов для процедуры интрацитоплазматической инъекции сперматозоида в программах экстракорпорального оплодотворения (обзор литературы). *Проблемы репродукции*. 2019;25(2):83–89. DOI: <https://doi.org/10.17116/repro20192502183> EDN: RVNRSH
- Nazarenko R. V., Zdanovskiy V. M. Sperm selection methods in IVF programs (literature review). *Problemy reproduksii* = Russian Journal of Human Reproduction. 2019;25(2):83–89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17116/repro20192502183>
40. Ohashi K., Saji F., Kato M., Tsutsui T., Tomiyama T., Tanizawa O. Acrobeads test: a new diagnostic test for assessment of the fertilizing capacity of human spermatozoa. *Fertility and Sterility*. 1995;63(3):625–630.
41. Hershlag A., Paine T., Scholl G. M., Rosenfeld D. L., Mandel F. S., Zhu J. Z. et al. Acrobeads test as a predictor of fertilization in vitro. *American Journal of Reproductive Immunology*. 1997;37(4):291–299. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1600-0897.1997.tb00232.x>
42. Lazarevic J., Wikarczuk M., Somkuti S. G., Barmat L. I., Schinfeld J. S., Smith S. E. Hyaluronan binding assay (HBA) vs. sperm penetration assay (SPA): Can HBA replace the SPA test in male partner screening before in vitro fertilization? *Journal of experimental & clinical assisted reproduction*. 2010;7:2.
43. Burkman L. J., Coddington C. C., Franken D. R., Kruger T. F., Rosenwaks Z., Hodgen G. D. The hemizona assay (HZA): development of a diagnostic test for the binding of human spermatozoa to the human hemizona pellucida to predict fertilization potential. *Fertility and Sterility*. 1988;49:688–697.
44. Chemlal H., Bensalem S., Bendiab K., Azzar M., Benberkane A., Lalaoui K. et al. High HbA_{1c} levels affect motility parameters and overexpress oxidative stress of human mature spermatozoa. *Andrologia*. 2021;53(1):e13902. DOI: <https://doi.org/10.1111/and.13902>
45. Атрощенко М. М., Медведев Д. В. Биохимические маркеры качества спермы жеребцов (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2023;58(2):249–259. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.249rus> EDN: WTNMEO
- Atroshchenko M. M., Medvedev D. V. Biochemical markers of stallion sperm quality (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2023;58(2):249–259. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.2.249rus>
46. Saleh R. A., Agarwal A. Oxidative stress and male infertility: from research bench to clinical practice. *Journal of Andrology*. 2002;23:737–752.
47. Badouard C., Ménéz Y., Panteix G., Ravanat J. L., Douki T., Cadet J., Favier A. Determination of new types of DNA lesions in human sperm. *Zygote*. 2008;16(1):9–13. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0967199407004340>
48. Neelke D. M., El-Khatib I. Chapter 25 – How to set up an andrology laboratory for a fertility center? *Handbook of Current and Novel Protocols for the Treatment of Infertility*. Academic Press, 2024. pp. 345–355. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85687-4.00005-1>
49. Kandil H., Farkouh A., Saleh R., Boitrelle F., Agarwal A. Chapter 3 – Sperm DNA fragmentation and male infertility: a comprehensive review for the clinicians. *Handbook of Current and Novel Protocols for the Treatment of Infertility*. Academic Press, 2024. pp. 29–52. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85687-4.00018-X>
50. Kang S. H., Kwon J. Y., Lee J. K., Seo Y. R. Recent advances in in vivo genotoxicity testing: prediction of carcinogenic potential using comet and micronucleus assay in animal models. *Journal of Cancer Prevention*. 2013;18(4):277–288. DOI: <https://doi.org/10.15430/jcp.2013.18.4.277>
51. Плосконос М. В. Сравнительная характеристика методов выделения сперматозоидов из нативного эякулята мужчин. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2016;61(6):342–347. DOI: <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2016-61-6-342-347> EDN: WFDVQH

Ploskonos M. V. The comparative characteristic of techniques of isolation of spermatozoons from native male ejaculate. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika* = Clinical Laboratory Diagnostics. 2016;61(6):342–347. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18821/0869-2084-2016-61-6-342-347>

52. Rubio C., Gil-Salom M., Simón C., Vidal F., Rodrigo L., Mínguez Y. et al. Incidence of sperm chromosomal abnormalities in a risk population: relationship with sperm quality and ICSI outcome. *Human Reproduction*. 2001;16(10):2084–2092. DOI: <https://doi.org/10.1093/humrep/16.10.2084>

53. Muriel L., Goyanes V., Segrelles E., Gosálvez J., Alvarez J. G., Fernández J. L. Increased aneuploidy rate in sperm with fragmented DNA as determined by the sperm chromatin dispersion (SCD) test and FISH analysis. *Journal of Andrology*. 2007;28(1):38–49. DOI: <https://doi.org/10.2164/jandrol.106.000067>

54. Курило Л. Ф., Любашевская И. А., Дубинская В. П., Гаева Т. Н. Кариологический анализ состава незрелых половых клеток эякулята. *Урология и нефрология*. 1993;(2):45–47.

Kurilo L. F., Lyubashevskaya I. A., Dubinskaya V. P., Gaeva T. N. Karyological analysis of the composition of immature ejaculate germ cells. *Urologiya i nefrologiya*. 1993;(2):45–47. (In Russ.).

55. Андреева М. В., Штаут М. И., Добродеева Л. Т., Сорокина Т. М., Черных В. Б., Курило Л. Ф. Количественный кариологический анализ незрелых половых клеток из эякулята при нормальной концентрации сперматозоидов. *Андрология и генитальная хирургия*. 2022;(1):37–44.

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2022-23-1-37-44> EDN: MVMVPV

Andreeva M. V., Shtaut M. I., Dobrodeeva L. T., Sorokina T. M., Chernykh V. B., Kurilo L. F. Kolichestvennyy karyologicheskyy analiz nezrelykh polovykh kletok iz eyakulyata pri normal'noy kontsentratsii spermatozoidov. *Andrologiya i genital'naya khirurgiya*. 2022;23(1):37–44. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.17650/1726-9784-2022-23-1-37-44>

Сведения об авторах

Берелет Татьяна Юрьевна, студент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», ул. Черниговская, д. 5, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: secretary@spbguv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5630-8987>

✉ **Корочкина Елена Александровна**, доктор вет. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», ул. Черниговская, д. 5, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196084, e-mail: secretary@spbguv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7011-4594>, e-mail: e.kora@mail.ru

Information about the authors

Tatiana Y. Berelet, student, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: secretary@spbguv.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-5630-8987>

✉ **Elena A. Korochkina**, DSc in Veterinary Science, Associate Professor, Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, Chernigovskaya St., 5, Saint Petersburg, Russian Federation, 196084, e-mail: secretary@spbguv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7011-4594>, e-mail: e.cora@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

Роль кормовых добавок в формировании продуктивности жвачных (обзор)

© 2025. О. В. Шошина^{1✉}, Н. В. Соболева¹, Г. К. Дускаев¹, Е. В. Шейда^{1, 2}, О. В. Кван^{1, 2}

¹ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», г. Оренбург, Российская федерация,

²ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», г. Оренбург, Российская федерация

Существуют различные типы кормовых добавок: аминокислоты, минералы, витамины, пробиотики, пребиотики, гормоны и ферменты. Биологически активные добавки, используемые как в натуральном виде, так и в комплексе ускоряют обмен веществ, что ведет к повышению продуктивности и улучшению качества получаемой продукции от животных. Макро- и микроэлементы оказывают хороший эффект на обмен веществ в организме коров, величину удоя, состав молока и его технологические свойства. Учеными доказано, что основной лимитирующей аминокислотой для жвачных является метионин, а с добавлением в совокупности лизина и метионина к основному рациону получают дополнительный надой молока. Есть подтверждения, что пробиотики в комплексе с пребиотиками положительно себя зарекомендовали, такое сочетание называется «синбиотики». Эти два продукта целенаправленно поддерживают друг друга, что является наиболее вероятным подходом к снижению количества патогенов в молочной продукции. Среди ферментных препаратов в настоящее время наиболее широко используются в животноводстве композиции, содержащие ксиланазу, целлюлазу и β -глюканазу. Фермент целлюлаза значительно улучшает суточный удой, жирность и жирно-кислотный состав молока, а также способствует улучшению усвоения питательных веществ. При этом экзогенный фермент ксиланазы не оказывает влияние на удой и способствует снижению эффективности использования корма у коров в начале лактации. Таким образом, биологически активные добавки как в натуральном виде, так и в комплексе позволяют восполнить дефицит основных питательных веществ, улучшить рубцовое пищеварение, увеличить удой и биологическую ценность молока, а также оказывают позитивный эффект на воспроизводительную способность коров.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, кормление, растительные препараты, минеральные препараты, аминокислоты, пробиотические препараты, пребиотические препараты, молочная продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (№ FNWZ-2024-0002).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шошина О. В., Соболева Н. В., Дускаев Г. К., Шейда Е. В., Кван О. В. Роль кормовых добавок в формировании продуктивности жвачных (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):975–997. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.975-997>

Поступила: 19.01.2025

Принята к публикации: 22.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

The role of feed additives in the formation of ruminant productivity (review)

© 2025. Oksana V. Shoshina¹, Natalia V. Soboleva¹, Galimzhan K. Duskaev¹, Elena V. Sheida^{1, 2}, Olga V. Kwan^{1, 2}

¹Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation,

²Orenburg State University, Orenburg, Russian Federation

There are various types of feed additives: amino acids, minerals, vitamins, probiotics, prebiotics, hormones, and enzymes. Biologically active additives used both in their natural form and in a complex accelerate metabolism which leads to increased productivity and improved quality of products obtained from animals. Macro- and microelements have a good effect on the metabolism in the body of cows, the amount of milk yield, the composition of milk and its technological properties. Scientists have proven that the main limiting amino acid for ruminants is methionine, and with the addition of lysine and methionine together to the basic diet, additional milk yield is obtained. There is evidence that probiotics combined with prebiotics have proven themselves positively, such a combination is called "synbiotics". These two products purposefully support each other, which is the most likely approach to reducing the number of pathogens in dairy products. Currently, the most widely used enzyme preparations in animal husbandry are compositions containing xylanase, cellulase, and beta-glucanase. The cellulase enzyme significantly improves the daily milk yield, fat content and fatty acid composition of milk, as well as improves the absorption of nutrients. At the same time, the exogenous enzyme xylanase has no effect on milk yield and contributes to a decrease in the efficiency of feed use in cows at the beginning of lactation. Thus, biologically active additives, both in their natural form and in a complex, make it possible to optimize the nutrient content in the body, improve scar digestion, increase milk yield and biological value of milk, and also have a positive effect on the reproductive ability of cows.

Keywords: cattle, feeding, herbal preparations, mineral preparations, amino acids, probiotic preparations, prebiotic preparations, milk productivity.

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 Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (No. FNWZ-2024-0002).

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

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

For citation: Shoshina O. V., Soboleva N. V., Duskaev G. K., Sheida E. V., Kwan O. V. The role of feed additives in the formation of ruminant productivity (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):975–997. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.975-997>

Received: 19.03.2025

Accepted for publication: 22.09.2025

Published online: 31.10.2025

Эффективность молочного скотоводства в России определяется генетическим потенциалом животных и уровнем молочной продуктивности, а также здоровьем разводимого скота. Поддержание здоровья и высокой продуктивности молочных коров во многом обеспечивается благодаря хорошо организованной системе кормления. Полноценное кормление животных предполагает обеспечение их необходимыми питательными веществами, витаминами и минералами в разные физиологические периоды [1, 2].

В настоящее время используются различные комплексы кормовых добавок, позволяющие полностью сбалансировать рацион животных, восстановить оптимальную микрофлору рубца и кишечника, повысить эффективность усвоения корма при одновременном снижении себестоимости, повышении эффективности и рентабельности производства животноводческой продукции [3, 4].

Наибольшая доля кормовых добавок, представленных на российском рынке за последние пять лет, находится в виде порошка (53,38 %), на втором месте – кормовые добавки в жидком виде (27,97 %), на третьем – кормовые добавки в виде гранул и микрогранулированный порошок (11,89 %). Такие варианты добавок также встречаются на мировых рынках, что обусловлено технологией производства, например, премиксы производятся в виде порошка, а гранулирование способствует снижению слёживаемости добавки и повышению усвояемости её компонентов [5, 6].

Европейская ассоциация операторов рынка добавок и премиксов (FEFANA) выделяет пять ключевых разновидностей кормовых добавок: технические добавки, которые влияют непосредственно на корм, в частности, органические кислоты; сенсорные добавки, способствующие увеличению поедаемости корма, к которым относятся ароматизаторы; питательные добавки, поддерживающие нужный

уровень аминокислот, витаминов и микроэлементов в рационе; зоотехнические добавки, оптимизирующие усвоение питательных веществ корма; а также кокцидиостатики и гистомоностатики. К зоотехническим добавкам причисляют кормовые ферменты, антибиотики, пробиотики и пребиотики. Каждая из этих категорий имеет свои преимущества и недостатки, что может ограничивать их использование [7].

Результаты многих исследований показали значительную пользу от применения различных видов кормовых добавок растительного, животного и микробного происхождения благодаря их положительному влиянию на продуктивные качества, состояние здоровья и деятельность пищеварительной системы. С развитием способов извлечения действующих веществ и повышением пищевой ценности отходов пищевой промышленности возможна дальнейшая разработка новых кормовых добавок [8].

Авторами установлено, что в ветеринарии можно использовать различные кормовые добавки для улучшения усвоения корма и производства молока, а также для минимизации негативного воздействия рациона на здоровье животных и окружающую среду. Однако некоторые из них в больших дозах могут оказывать негативное влияние на общий метаболизм [9].

Цель обзора – изучить эффективность использования различных кормовых добавок для лактирующих коров, способствующих повышению надоев и улучшению качества молока.

Материал и методы. Изучена 91 научная публикация отечественных и зарубежных авторов, среди которых основная часть опубликована за последние 10 лет и посвящена исследованиям по изучению влияния различных типов кормовых добавок на молочную продуктивность коров. Поиск научных статей осуществляли с помощью мониторинга электронных библиотечных систем: eLIBRARY.RU, PubMed, Cyberleninca, Research Gate по следующим ключевым словам: классификация кор-

мовых добавок, крупный рогатый скот, растительные препараты (экстракты), минеральные препараты, пробиотики и пребиотики в кормлении, аминокислоты, молочная продуктивность, ферментные препараты, ксиланазы, целлюлазы, β -глюканазы.

Основная часть. Разновидности кормовых добавок, применяемых для роста молочной продуктивности. Исследования показывают, что правильное соотношение энергии, белков, углеводов, витаминов и минералов в рационе может значительно улучшить как количество, так и качество молока. Рационы, сбалансированные по 20–24 показателям, повышают продуктивность животных на 25–30 %, снижают расход корма на единицу продукции на 30–35 % и ее себестоимость — на 20 % [10]. Заготовка и хранение кормов может повлиять на утрату питательных веществ, особенно витаминов и белков, что делает необходимым вводить в рацион добавки с дефицитными макро- и микроэлементами. Есть сведения, что увеличение количества концентратов в рационе коров с целью получения высоких удоев и сохранения баланса лактации может привести к метаболическим расстройствам и сбою пищеварения в рубце. Снижение расхода концентратов для получения молока действительно является важной задачей в современном животноводстве¹.

В целях улучшения эффективности животноводческой отрасли важное значение отводится не только улучшению качественных показателей кормов, модернизации условий содержания крупного рогатого скота, но и кормовым добавкам, стимулирующим процессы метаболизма². В широком смысле кормовые добавки можно разделить: на питательные — аминокислоты, минералы, витамины и непитательные — пробиотики, пребиотики, гормоны, ферменты [9].

Пробиотики — это живые культуры непатогенных микроорганизмов, которые вводятся перорально и благотворно влияют на организм животного, улучшая микробный баланс его кишечника, например, *Lactobacillus acidophilus*,

L. bifidus, *L. casei*, *Streptococcus thermophiles*. Пребиотики — это органические соединения, которые не могут быть переварены организмом животного, но могут быть использованы некоторыми специфическими микроорганизмами в желудочно-кишечном тракте животных на благо организма [11]. Синергетический подход к модификации микробной экосистемы при одновременном применении пробиотиков и пребиотиков вместе известен как «синбиотики». Эти два продукта целенаправленно поддерживают друг друга, что является наиболее вероятным подходом к снижению количества возбудителей болезней, снижающих молочную продуктивность [12].

Кормовые добавки на основе ферментов являются естественными биокатализаторами, которые регулируют различные биохимические реакции в организме животного. Их также можно использовать в качестве кормовых добавок для улучшения расщепления питательных компонентов корма. Целлюлазы, ксиланазы, β -глюканазы, пектиназы, амилазы, протеазы, фитазы и ферменты, которые расщепляют специфические растительные токсины, такие как танназы, являются продуктом жизнедеятельности микробной популяции, обитающей в рубце. Ферменты, переваривающие клетчатку у животных с многокамерным желудком, такие как целлюлазы или ксиланазы, используются в качестве защитных энзимов, поскольку присоединение углеводной части фермента к белку может повлиять на усвоение корма либо за счет их воздействия на корм перед употреблением, либо за счет улучшения переваривания в рубце [9].

Внеклеточные ферменты, вырабатываемые некоторыми грибами, могут действовать аналогичным образом. Механизмы действия различных кормовых добавок, включая растительные биологически активные соединения, снижающие выделение метана в кишечнике, неодинаковы, смесь таких соединений может оказывать синергетический эффект при очень низких дозах, не влияя на расщепление корма [13].

¹Калашников А. П., Фисинин В. И., Щеглов В. В., Клейменов Н. И. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных. Справочное пособие. 3-е издание, переработанное и дополненное. М., 2003. 305 с.

URL: http://viktofed.beget.tech/wp-content/uploads/2024/12/Norm_racion.pdf

²Мухина Н. В., Смирнова А. В., Черкай З. Н., Талалаева И. В. Корма и биологически активные кормовые добавки для животных: учебное пособие. М.: КолосС, 2008. 271 с. URL: https://www.studmed.ru/muhina-n-v-red-korma-i-biologicheski-aktivnye-kormovye-dobavki-dlya-zhivotnyh_f130452ac0b.html

Окисление жира в корме вызывает прогорклость кормов из-за перекисного окисления

липидов, которое придает продуктам животного происхождения неприятный вкус, поэтому

использование антиоксидантов в качестве кормовых добавок может нивелировать данный эффект. Первичные антиоксиданты могут остановить распространение свободных радикалов, в то время как вторичные антиоксиданты могут препятствовать образованию свободных радикалов. К природным антиоксидантам относятся: витамин Е, экстракт розмарина, каротиноиды, тиоцианаты. Наиболее распространенными синтетическими антиоксидантами являются этоксихин, тербутилгидроксихинон, пропил галлат, бутилированный гидрокситолуол. Основными вторичными антиоксидантами являются хелаты металлов [9].

Многие кормовые добавки также применяются в качестве стратегии снижения выработки метана (CH_4) жвачными животными. Из них ионофорные антибиотики (монензин, лазалоциды) и органические кислоты (малат, фумарат) широко использовали для снижения выработки метана и улучшения молочной продуктивности животных, нитраты и сульфаты, как по отдельности, так и в комбинации – в качестве альтернативных поглотителей водорода [14] и восстановленного метана путем стимуляции сульфатредуцирующих бактерий в рубце [15].

Растет интерес к использованию растительных биологически активных соединений (конденсированных дубильных веществ, сапонинов, эфирных масел) в качестве стратегии снижения уровня CH_4 из-за их природного происхождения в противовес химическим добавкам. Антиметаногенная активность растений объясняется главным образом конденсацией танинов, прямым воздействием на метаногены в жвачке и косвенным воздействием на выработку водорода из-за снижения разложения корма [9, 16, 17].

В настоящее время актуально использовать в рационах биологически активные добавки, а также кормовые добавки на основе природных соединений, так как химически синтезированные добавки оказывают неблагоприятное воздействие на организм животных. Биологически активные добавки в комплексах и в натуральном виде могут положительно влиять на здоровье, продуктивность и качество молока коров [18].

Влияние добавления в рацион жвачных растительных препаратов (экстрактов) на продуктивность и качество молока. Для увеличения производства молока и продуктивности

животных применяются различные лекарственные препараты на основе растений [19, 20, 21]. Однако большинство из этих растительных препаратов не прошли тщательной оценки и их длительное применение вызывает опасения по поводу безопасности и эффективности. Растения, содержащие большое разнообразие вторичных метаболитов, которые при концентрации и экстрагировании могут оказывать антибактериальное воздействие на микроорганизмы рубца, были тщательно оценены на предмет влияния на ферментацию жвачных животных, улучшение использования корма и их антибактериальную активность [22]. Несколько исследований были посвящены оценке возможного использования растительных экстрактов в качестве корма для жвачных животных, заменяющего антибиотики, в ходе которых было установлено, что травы или растительные компоненты могут увеличить потребление корма и выработку питательных веществ, стимулируя иммунную систему и обладая антимикробными свойствами. Также они могут стимулировать эндокринную систему и метаболизм промежуточных питательных веществ, что будет способствовать удовлетворению потребностей животных в питании [23].

Многие исследования подтвердили положительное влияние растительных экстрактов, богатых флавоноидами, на сокращение выбросов метана и изменения в популяциях микроорганизмов, что улучшает ферментацию в рубце молочных коров, увеличивает надой молока и защищает от ацидоза в рубце [24]. Биологически активные соединения растительного происхождения, такие как фенолы, флавоноидные соединения, эфирные масла и аллицин, являются природными метаболитами, которые считаются надежными источниками фитонутриентов и стимуляторами иммунитета, повышают антиоксидантную активность и обладают антимикробными свойствами, эффективными против широкого спектра микроорганизмов [25]. Кроме того, природные метаболиты могут быть использованы для модификации ферментации в рубце, целью которой является максимальное повышение эффективности переработки кормовых продуктов животного происхождения за счет воздействия на экосистемы микробов в рубце, не оказывая негативного воздействия на окружающую среду [26]. Растения богатые метаболитами совсем недавно стали использоваться в качестве кормовых добавок для животных после того, как было

доказано, что они безопасны и полезны [27]. Выброс метана жвачными животными в настоящее время влечет за собой экологическую нагрузку, которую нельзя игнорировать. Выделение метана жвачными животными является проблемой, так как приводит к потере 2–15 % общего потребления энергии. Растительные экстракты, приготовленные из чеснока и лука, могут снижать выбросы CH_4 или образование аммиака без ущерба для общей ферментации питательных веществ в рубце [28].

Одной из наиболее широко распространенных сельскохозяйственных культур в мире являются цитрусовые. Сушеная мякоть цитрусовых является ценным пищевым продуктом и сырьем, содержащим различные растворимые и нерастворимые углеводные полимеры, которые используются в качестве корма для животных [29]. Кроме того, они содержат активные вещества, такие как аскорбиновая кислота, флавоноиды и фенольные соединения [30]. Мякоть цитрусовых содержит лимонен, который обладает антиметаногенными свойствами [31]. Чеснок (*Allium sativum* L.) и чесночное масло обладают широким спектром действия – от антимикробных, антиоксидантных и антиканцерогенных свойств до благотворного воздействия на сердечно-сосудистую и иммунную системы [32]. Лук, универсальный овощ рода *Allium*, ценится во всем мире и является вторым наиболее изученным растением этого рода после чеснока. Он хорошо известен своими полезными компонентами, такими как соединения серы, фенолы и флавоноиды, которые играют важную роль в качестве антимикробных и антиоксидантных средств, а также улучшают метаболическую активность [33]. Данные сельскохозяйственные культуры способствуют улучшению перевариваемости и иммунной реакции, что в совокупности может улучшить здоровье животных, производство молока и эффективность кормления молочного скота.

В последние годы растет число исследований по использованию в кормлении животных растений, производящих вторичные метаболиты. Например, исследование [34] показало, что добавление молочным коровам экстракта из фруктовых и овощных соков может быть полезным для улучшения перевариваемости корма, ферментации в рубце, удоя и содержания молочного жира. Так, с введением в рацион коров фруктовых и овощных соков в дозе 50 г/л значительно ($p < 0,05$) возростала

усвояемость органического вещества и сырого протеина корма по сравнению с животными, получающими дозировку 100 г/л и контрольной группой. Результаты по удою и составу молока доказали, что коровы, получавшие кормовую добавку на уровне 50 и 100 г/л превосходили показатели животных из контрольной группы по удою. Результаты анализа энергетической ценности молока отображали более высокие значения у животных, получавших 50 г/л овощных соков, чем у животных, получавших 100 г/л и контрольных, но при этом количество соматических клеток в молоке коров с вариантами дозировок 50 и 100 г/л овощных соков было на 21,24 и 25,12 % больше, чем в контрольной группе.

При использовании в рационе коров и кобыл растительных кормовых добавок, включающих семена чиа – 3 %, семена льна – 4 %, побеги крапивы двудомной (*Urtica dioica* L.) – 1 % и ягоды клюквы – 2 %, оценивали химический состав и качество молока по органолептическим и физико-химическим показателям, также были рассчитаны показатели пищевой и энергетической ценности. Органолептический, физико-химический и микробиологический анализы молока показали значительные различия в цвете: коровье молоко было светло-белым, а кобылье – приобретало белоголубой оттенок. Другие органолептические показатели были в основном схожими. В кобыльем молоке белка и жира содержалось меньше, в то время как в коровьем молоке уровень сухого обезжиренного молочного остатка (СОМО) и лактозы был ниже. Важно отметить, что ни в одном из видов молока не были обнаружены вредные и патогенные микроорганизмы. Поэтому включение растительных компонентов, таких как семена чиа, семена льна, побеги крапивы и сублимированная клюква значительно улучшило химический и биологический состав молочных продуктов, их вкусовые качества и общие органолептические характеристики. Благодаря тщательной оценке качества и безопасности было установлено, что такие молочные продукты соответствуют строгим отраслевым стандартам и подчеркивают перспективный характер этих исследований [35]. В результате может возникнуть новая теория по замене антибиотиков или синтетических соединений, объясняющая интерес к использованию натуральных растительных соединений в животноводстве в качестве естественных альтернатив для повышения

эффективности кормов и продуктивности крупного рогатого скота [34].

Г. Т. Есжанова и др. (G. T. Yeszhanova et al., 2023) [36] представили результаты эксперимента по влиянию кормовой добавки, содержащей сухие экстракты растений, на некоторые показатели обмена веществ у лактирующих коров, а также на качество молока. В ходе исследования было установлено, что применение в рационах коров кормовой добавки, обогащенной экстрактами джугуна и топинамбура, привело к увеличению энергетической ценности молока за счет повышения жирности на 17,6 %, содержания казеина – на 5,5 %, лактозы – на 6,4 %, кальция – на 4,3 %, фосфора – на 9,2 %, плотности молока – на 0,7 %. При этом отмечалось снижение содержания сывороточного белка и соматических клеток в молоке. Кроме того, после введения кормовой добавки с фитоэкстрактами в рацион коров опытной группы у животных отмечали их стимулирующее влияние на содержание компонентов белкового, углеводного, минерального обменов, а также зафиксировали корректирующее влияние на каталитическую активность ферментов аспаратаминотрансферазы (АСТ) и аланинаминотрансферазы (АЛТ). В крови у опытных животных выявлено повышение содержания общего белка на 14,5 %, глюкозы – на 23,6 %, кальция – на 12,4 %, фосфора – на 26,7 %. Все изменения в динамике содержания показателей обмена веществ

в крови находились в пределах физиологических значений. Полученные данные подтвердили целесообразность использования данной кормовой добавки для оптимизации рациона коров с целью улучшения их физиологического состояния.

А. И. Фролов и А. Н. Бетин [37] изучили эффективность применения органического комплекса на основе гидролизата соевого белка, витаминов и микроэлементов в рационах сухостойных и лактирующих полновозрастных голштинизированных коров симментальской породы методом групп. Животным опытной группы к основному рациону добавляли кормовую добавку (100 мл на 1 голову за три недели до отёла и в течение 30 дней после отёла) методом орошения. Включение в рацион высокопродуктивных коров органического комплекса позволило увеличить молочную продуктивность за учётный период на 14,9 % и улучшить физико-химические свойства молока. Исследования показали наиболее высокие значения в молоке опытных коров сухого вещества и его компонентов, за исключением лактозы. Молоко коров опытной группы отличалось более высоким содержанием сухого вещества на 0,3 %, СОМО – на 0,4 %, жира – на 0,34 %, белка – на 0,04 %. При этом снизились затраты обменной энергии и переваримого протеина на производство 1 кг молока на 12 и 10 % соответственно (табл. 1).

Таблица 1 – Физико-химические показатели молока [37] /

Table 1 – Physico-chemical parameters of milk

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / control	опытная / experimental
Сухое вещество, % / Dry matter, %	12,00±0,05	12,30±0,06
Сухой обезжиренный молочный остаток (СОМО), % / Skimmed milk powder (SOMO), %	8,20±0,03	8,60±0,05
Белок, % / Protein, %	3,10±0,01	3,14±0,03
Жир, % / Fat, %	3,59±0,03	3,93±0,04
Лактоза, % / Lactose, %	4,80±0,006	4,80±0,006
Плотность, А / Density, А	1,029±0,18	1,030±0,19
Кислотность, Т / Acidity, Т	19,00±0,09	20,00±0,10

Результаты проведённых исследований указывают на объективную целесообразность использования кормовой добавки из гидролизата соевого белка, витаминов и микроэлементов в заключительном периоде сухостоя

коров, а также в период раздоя с целью повышения продуктивности и качества молока [37].

В исследовании В. В. Зайцева и др. [18] было определено, что применение кормовой добавки Фарматан ТМ (сбалансированная комбинация танинов, эфирных масел гвоздики

и корицы, ацетата натрия, органического цинка) и хвойной энергетической добавки стимулирует начальную фазу лактации коров, от чего среднесуточные удои молока и натуральная жирность увеличиваются, затраты кормов на единицу получаемой продукции снижаются, а чистый доход возрастает.

Пажитник (*Faenum graecum*) может эффективно действовать на выработку молока у молочных коз и овец благодаря своим полезным свойствам. Так, за весь экспериментальный период 130 дней повышение молочной продуктивности может быть связано со свойствами пажитника улучшать аппетит и увеличивать потребление кормов. Увеличение удоев также может быть вызвано эндогенной гормональной стимуляцией. В исследовании, проведенном [38], установлено увеличение удоев из-за повышения уровня тиреотропного гормона и стимулирующего пролактина, которые влияют на лактацию [39]. Молочных коз сравнивали с молочными коровами, и было показано, что содержание лактозы в молоке можно увеличить, используя пищевые добавки из вторичных растительных метаболитов. Nutrifen Plus, содержащий активный ингредиент пажитник, подтверждает предыдущее открытие [39], доказано, что пажитник положительно воздействует на лактацию у жвачных, таких как молочные коровы, буйволы и молочные козы, а использование натуральной кормовой добавки увеличивает содержание лактозы в молоке [40]. Исследования, проведенные в отношении пажитника, малоизвестны, и механизм, с помощью которого пажитник увеличивает надой молока, остаётся неясным. Однако известно, что пажитник играет полезную роль в переваривании и всасывании липидов, усиливая синтез желчных кислот в печени [41], богат сапонинами, которые содержатся как в листьях, так и в семенах [42]. Диоцин – это природный сапонин, содержащийся в пажитнике, который снижает уровень липидов, поскольку сапонины превращаются в желудочно-кишечном тракте в сапогенины [43]. Авторами была рассмотрена гипотеза о том, что пажитник может влиять на расщепление и переваривание пищи в рубце, в результате чего животное получит больше питательных веществ, было установлено, что пажитник можно с успехом включать в рацион молочных коз в качестве натуральной кормовой добавки для увеличения выработки молока [44, 45]. В другом исследовании дополнительное кормление дойных голштинских коров растительным

препаратом OVUMA улучшило показатели рубцового пищеварения и продуктивность животных. OVUMA – мощный растительный препарат, содержащий 98 % бетаина, пажитника, льняного семени, куркумина и листья перца (*Piperis folia*). Бетаин или триметилглицин широко распространен в организме животных, растений и микробов. Поскольку этот препарат не является гормональным и содержит несколько видов трав, он безопасен, экономичен и не имеет вредных побочных эффектов [46]. Недавние исследования показали, что бетаин уменьшает окислительное повреждение эпителиальных клеток молочной железы крупного рогатого скота, подвергающихся тепловому стрессу. Кроме того, дополнительный бетаин может усиливать ферментацию в рубце, восстанавливать активность трипсина и амилазы, вызывая препятствие ингибирующему эффекту гипертоничности и повышая удои. Следовательно, для усиления пищевой ценности кормов, уменьшения отрицательного влияния стресса, а также улучшения здоровья и продуктивности предложено в рацион молочных коров включать растительные препараты [47, 48].

Влияние добавления в рацион жвачных минеральных препаратов на продуктивность и качество молока. Минеральное питание является неотъемлемой частью полноценного кормления сельскохозяйственных животных. Минеральные вещества являются строительными блоками для ферментов, витаминов и гормонов, регулируя обмен энергии, белков, углеводов и жиров. Кроме того, минералы участвуют в поддержании баланса воды и кислотности в организме, обеспечивают нормальное пищеварение, дыхание, кроветворение, иммунитет и воспроизводство потомства [49].

Использование комплексных кормовых добавок положительно влияет на молочную продуктивность коров. В результате применения минерально-витаминной добавки (100 г/гол.) надой молока увеличился на 166 кг, а белково-минерально-витаминная добавка (500 г/гол.) повышала этот показатель на 360 кг, содержание массовой доли жира в молоке увеличилось на 0,16 %, что значительно улучшало молочную продуктивность. С введением в рацион коров кормовой добавки «Белкофф-М» надой молока возросли на 266 кг, а сочетание с углеводной добавкой (жидкие полисахариды) – на 693 кг, что привело к сокращению затрат кормов на производство 1 кг молока базисной жирности на 15,5 % [10].

Исследование, которое провели А. В. Требухов и др. (А. V. Trebukhov et al., 2022), посвящено изучению влияния минеральных и витаминных добавок на молочную продуктивность коров красной степной породы, для этого сформировали 3 группы животных. Первая группа служила контролем и получала стандартный фермерский рацион (СФР), вторая экспериментальная – СФР и добавку, содержащую витамины и минералы (ВМД) в количестве 100 г/гол. в день, третья экспериментальная – СФР и добавку, содержащую белки, витамины и минералы (БВМД) в количестве

500 г/гол. в день. Добавка БВМД оказала значительное влияние на молочную продуктивность коров – увеличились удои на 9,3 и 12,6 % в 3-й опытной группе по сравнению со 2-й опытной и 1-й контрольной группами соответственно (рис. 1) [49].

Включение кормовых добавок в рацион оказало значительное влияние на химический состав молока. У коров 3-й опытной группы зафиксирована максимальная способность к выработке молочного жира (4,65 %), которая превышала показатели 2-й опытной и 1-й контрольной групп в среднем на 0,10–0,12 % (рис. 2).

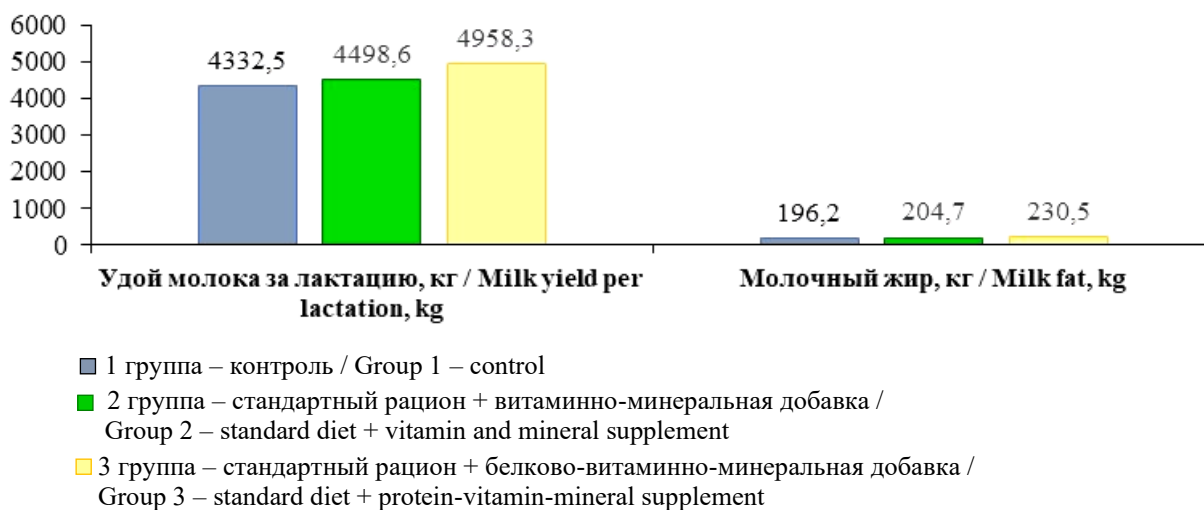


Рис. 1. Показатели продуктивности и качества молока коров (по данным [49]) /
Fig. 1. Indicators of productivity and quality of cow's milk

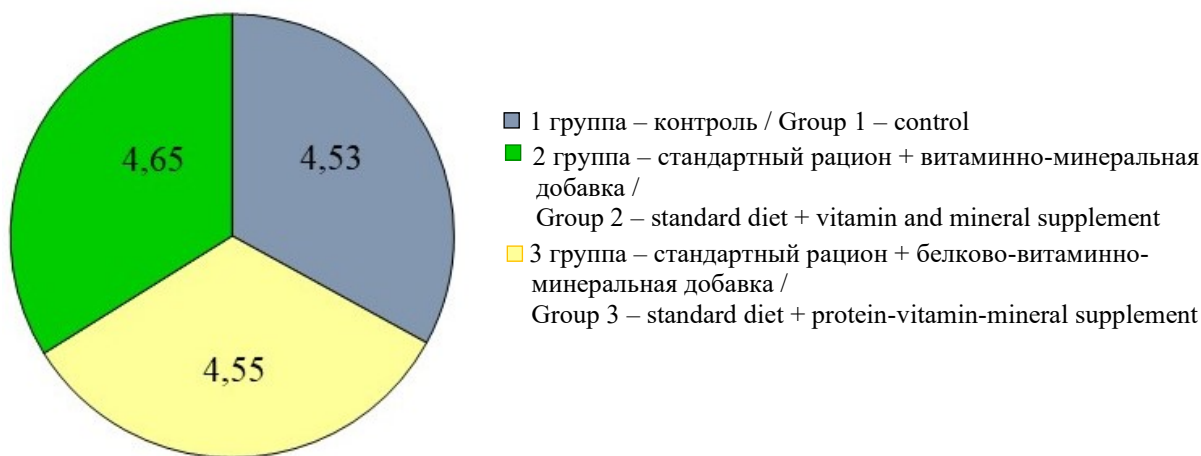


Рис. 2. Содержание жира в молоке коров, % (по данным [49]) /
Fig. 2. Fat content in cow's milk, %

Уровень белка и казеина в молоке был больше контрольных значений во всех группах. Наибольшее содержание белка наблюдалось в 3-й опытной группе – 3,28 %. Анализ количества казеина показал, что у животных 3-й

опытной группы, получавших БВМД, значение показателя составило 2,71 %, что на 0,11–0,13 % выше, чем во 2-й опытной и 1-й контрольной группах (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание белковых компонентов в молоке коров, % (по данным [49]) /
Table 2 – The content of protein components in cow's milk, %

Показатель / Indicator	1 группа (контроль) / Group 1 (control)	2 группа опытная / Group 2 experienced	3 группа опытная / Group 3 experienced
Массовая доля белка / Mass fraction of protein	3,07	3,12	3,28
Массовая доля казеина / Mass fraction of casein	2,55	2,58	2,71
Массовая доля сывороточного белка / Mass fraction of whey protein	0,7	0,53	0,5

Примечания: 1 группа – контрольная – стандартный рацион; 2 группа – стандартный рацион + витаминно-минеральная добавка; 3 группа – стандартный рацион + белково-витаминно-минеральная добавка /

Notes: group 1 – control – standard diet; group 2 – standard diet + vitamin and mineral supplement; group 3 – standard diet + protein-vitamin-mineral supplement

Авторы пришли к выводу, что использование БВМД в рационах кормления коров обеспечило повышение молочной продуктивности и улучшило свойства молока.

Природные источники минеральных веществ в рационе сельскохозяйственных животных способствуют восполнению дефицита макро- и микроэлементов в организме, оказывая положительный эффект на здоровье и продуктивность. Скармливание бентонитовой глины, как установили А. З. Утижев и Т. Н. Коков, стимулирует выработку молока и улучшает его физико-химические свойства [50]. И. Д. Арнаутовский и С. А. Гусева провели аналогичный эксперимент, добавляя в рацион коров БМВД и цеолиты, под действием таких добавок они получили экологически чистое молоко, в котором была снижена концентрация мышьяка [51]. Цеолиты, являющиеся хорошими источниками макро- и микроэлементов, способствуют лучшему усвоению питательных веществ кормов, что подтверждено исследованием [52].

Д. В. Власенко и Л. Н. Гамко изучили влияние минерально-витаминной добавки на основе цеолитсодержащего трепела в комбинации с витаминами А, D и Е на молочную продуктивность коров швицкой породы. Авторами в ходе исследования были разработаны и протестированы два рецепта добавки: один для зимнего периода содержания животных, другой – для летнего. Результаты показали, что такая минерально-витаминная добавка оказывает положительное воздействие на использование азота, кальция и фосфора организмом коров, а также на состав молока. Коровы, получавшие такую добавку, демонстрировали высокие количественные и качественные показатели молочной продуктивности независимо от сезона. Удой молока у коров

опытной группы увеличился на 1,1 кг (7,7 %) в сутки, а уровень жира в молоке – на 0,6 %. Расход энергетических кормовых единиц на 1 кг произведенного молока снизился на 6,6 % по сравнению с контрольной группой. Прибыль от продажи молока, полученного от коров опытной группы, увеличилась на 8,9 % [53].

Научно-хозяйственный эксперимент Л. Н. Гамко и Н. А. Семусевой доказал эффективность применения комплексной минеральной добавки на основе смектитного трепела в совокупности с гидролизованной сывороткой, обогащенной лактатами (СГОЛ 1–40), в рационах лактирующих коров в летний период. Эта добавка оказала положительное влияние на молочную продуктивность, а также морфологические и биохимические показатели крови у подопытных животных в дозе 2 % от сухого вещества. Суточный удой увеличился на 5 %, а с учетом базисной жирности – на 6,9 %. Уровень эритроцитов, лейкоцитов, а также концентрация гемоглобина не выходили за пределы нормы, при этом незначительно повысился уровень общего белка, кальция и фосфора [54].

Использование минеральных добавок в кормлении лактирующих коров позволяет повысить их молочную продуктивность, что доказано в исследовании [55]. В ходе научно-хозяйственного опыта коров черно-пестрой породы разделили на две группы. Коровам первой группы добавляли в рацион специально разработанную кормовую минеральную добавку № 1 – РусМД100, второй группе – кормовую добавку № 2 – РусМД300. В течение всего эксперимента, который длился 120 дней, продуктивность коров в первой опытной группе получили выше на 3,2 %, во второй – на 5,6 % по сравнению с контрольной. При учете содержания жира в молоке разница составила 3,6

и 6,2 %. Кроме того, минеральные добавки в рационе увеличили концентрацию минеральных веществ в молоке коров опытных групп на 0,01 и 0,02 %. В целом в молоке коров изучаемых групп было больше содержание сухого вещества на 0,08 и 0,13 % по сравнению с контролем.

Учитывая вышеизложенное, минеральные вещества значительно влияют на обмен веществ, удой, технологические свойства молока и его состав, ускоряют молокообразование. Обеспечение коров необходимыми минералами является важным аспектом рационального кормления, что в свою очередь способствует повышению продуктивности и улучшению качества молока. Это подчеркивает необходимость научно обоснованного подхода к минеральному питанию в молочном скотоводстве [56].

Влияние добавления аминокислот в рацион жвачных на продуктивность и качество молока. Животные, особенно высокопродуктивные, нуждаются в постоянном поступлении определенного количества аминокислот с кормом, поскольку их организм не способен синтезировать их в достаточном объеме. Дефицит незаменимых аминокислот напрямую ограничивает реализацию их генетического потенциала [57]. Многочисленными исследованиями доказано, что для полигастричных животных наиболее значимой лимитирующей аминокислотой является метионин, а его нехватка встречается чаще всего у высокопродуктивных коров. Лимитирующие аминокислоты присутствуют в организме в наименьшем количестве и ограничивают использование всех остальных аминокислот, даже если они присутствуют в избытке. Метионин способствует нормализации работы печени и улучшению общего состояния животного. Второе место по значимости среди лимитирующих аминокислот у коров отводится лизину [58]. Из чего следует, что метионин и лизин определяются как основная и второстепенная аминокислоты в рационах полигастричных животных. Это обусловлено относительно низким содержанием таких аминокислот в протеине корма сравнительно с их уровнем в тканях организма животного, в белке молока и протеине, синтезируемом микроорганизмами рубца. Метионин присутствует в подсолнечном шроте и жмыхе, которые чаще всего включают в рационы лактирующих коров. Что касается лизина, то его дефицит особенно остро ощущается после отела и компенсируется добавлением в корм соевого жмыха или шрота.

Важно подчеркнуть, что несмотря на сбалансированность рациона по метионину, может возникнуть недостаток лизина [59, 60]. Для достижения максимальной молочной продуктивности и поддержания здоровья животных необходимо тщательно планировать рацион коров с учетом лимитирующих аминокислот. Концентрация метионина и лизина в кормах ниже, чем в белке, вырабатываемом рубцовыми микроорганизмами. Поэтому большее количество протеина корма, поступая в печень, далее превращается в мочевину [61].

В. В. Рыболовской [62] было изучено влияние аминокислот на продуктивность лактирующих коров, для чего сформировали 2 экспериментальные группы коров черно-пестрой породы, которым скармливали однотипный рацион. Второй группе дополнительно вводили добавку ЛизиперлТМ 40 г на голову в сутки с уровнем лизина 50 %. Благоприятный эффект отразился как на механизмах обмена белка, так и на росте молочной продуктивности. Полученные результаты показали, что такая добавка существенно повлияла на молочную продуктивность, увеличив удой на 4,7 %, выход молочного жира и белка – на 4,9 %, а также снизив затраты на корма и себестоимость единицы молочной продукции.

К. А. Лещуков и В. Н. Масалов [63] предлагают для повышения продуктивности коров дополнять их рацион комплексом защищенных аминокислот ZEO-AMINO. Для коров с удоем 19–22 кг добавка на основе комплекса защищенных аминокислот будет способствовать повышению продуктивности на 9,5 %, а также улучшать содержание молочного жира и белка. Для высокопродуктивных коров с удоем 30–33 кг, которые подвержены высокому риску метаболических нарушений (кетозу), рекомендуется вводить добавку защищенных аминокислот совместно с экстрактом артишока (*Cynara L.*), обладающего гепатопротекторным действием, что поддерживает здоровье печени и улучшает обмен веществ. Кормовые добавки, обогащенные комплексом защищенных аминокислот, способны значительно увеличить эффективность молочного производства и улучшить качество молока.

В. Г. Рядчиков и др. [64] изучили молочную продуктивность коров при добавлении защищенных аминокислот, таких как лизин и метионин к рациону. Эти аминокислоты могут способствовать улучшению молокоотдачи и частичному сбалансированию рациона,

что приведет к увеличению удоев. Рекомендовано добавлять в рацион защищенный лизин в количестве 63 г на голову, что позволит более эффективно сбалансировать рацион по лимитирующим аминокислотам. Это может способствовать увеличению выработки молока у коров и, как следствие, улучшить экономическую эффективность.

Влияние добавления в рацион жвачных пробиотических и пребиотических препаратов на продуктивность и качество молока. Рост производства молока тесно связан с грамотной организацией сбалансированного питания животных, которое учитывает их потребности в питательных компонентах и биологически активных веществах [65]. Ключевым аспектом при кормлении животных с рубцовым пищеварением является создание оптимальных условий для развития их микрофлоры. Без здоровой микрофлоры невозможно обеспечить полноценное переваривание и усвоение корма, поддерживать внутреннюю среду организма и защищать от патогенов [66]. Для достижения этой цели внимание ученых в последнее время привлечено к новым комплексным кормовым добавкам, к которым в первую очередь относят пробиотики, пребиотики, а также сорбенты, содержащие в своем составе живые микроорганизмы [67].

Одно из многообещающих направлений в животноводстве – использование полезных бактерий-пробиотиков в качестве замены кормовым антибиотикам [68, 69]. Микроорганизмы, содержащиеся в препаратах пробиотиков, обладают высокой скоростью роста и способны синтезировать значительное количество питательных и биологически активных веществ, что способствует улучшению обмена веществ, росту и продуктивности животных [70, 71, 72].

С. В. Сурначева и др. [73] установили, что скармливание высокопродуктивным коровам ферментативно-пробиотических препаратов «Румит» и «Румит-V» способствовало улучшению пищевой активности и повышению молочной продуктивности. Результаты исследования показали, что включение в рационы животных опытных групп кормовых добавок способствовало увеличению плотности их инфузорной фауны по сравнению с контролем в первой на 67,7 % (на 43,3 % тыс. ос./мл), а во второй опытной в 3 раза (на 126,8 тыс. ос./мл) ($p \geq 0,95$). При изучении активности рубцовой микрофлоры в опытных группах отмечено

снижение времени обесцвечивания рубцового содержимого на 83 и 59 сек., что может косвенно свидетельствовать о положительном влиянии пробиотика на процессы пищеварения в рубце. Среднесуточный удой коров опытных групп, которым дополнительно к основному рациону задавали кормовые добавки «Румит» и «Румит-V» увеличился на 7,3 и 8,6 % по сравнению с контрольной группой. Это позволяет сделать вывод о их безопасности и рекомендовать к использованию в качестве кормовых добавок.

В. А. Руин и др. [74] исследовали, как различные дозы пробиотического комплекса влияют на молочную продуктивность коров-первотелок и пришли к выводу, что включение в состав рациона пробиотического комплекса в дозировке 75 мг/кг сухого вещества способствовало улучшению показателей крови, что в свою очередь приводило к повышению молочной продуктивности. Так, в крови коров второй опытной группы, получавших 75 мг/кг сухого вещества (первая опытная группа – 60 мг/кг сухого вещества) пробиотика было зафиксировано увеличение содержания эритроцитов и гемоглобина. С повышением дозировки кормовой добавки в рационе коров третьей опытной группы до 90 мг/кг сухого вещества изучаемые показатели снизились незначительно. Включение разных дозировок пробиотического комплекса в рацион коров оказало положительное влияние на количественные и качественные показатели молока. За первую лактацию от коров-первотелок 2-й опытной группы получено 8806,6 кг молока, что на 13,8 ($p \leq 0,001$) и 5,0 % ($p \leq 0,001$) выше аналогов контрольной и 1-й опытной групп. Повышение дозировки пробиотика до 90 мг/кг сухого вещества рациона не способствовало дальнейшему увеличению молочной продуктивности, однако удой за первую лактацию был выше на 443,2 кг, или 5,7 % ($p \leq 0,001$) по сравнению с аналогами контрольной группы. В целом за лактацию от коров 2-й опытной группы получили 326,7 кг молочного жира, что на 42,1 кг, или 14,8 % ($p \leq 0,001$) больше сравнительно с контрольной и на 13,1 кг, или 4,2 % ($p \leq 0,001$) выше, чем в 1-й опытной группе.

Под влиянием пробиотиков в рубце овец и коз улучшается деятельность микробиоты, от чего в молоке возрастает процент жира. Пробиотические микроорганизмы усиливают рост и активность целлюлолитических бактерий, которые эффективно переваривают клетчатку,

образуя уксусную кислоту, а она задействована в биосинтезе жира молока. Усиленная микробиологическая активность приводит к лучшему усвоению азота. Аммиак, который обычно теряется, наоборот, поглощается и используется для синтеза белка, поэтому увеличивается метаболизм белковых соединений и уровень белка в молоке [75]. Например, А. И. Яшкин и др. [76] в своей работе изучали влияние пробиотических продуктов на основе лактобактерий, пропионовых бактерий и энтерококков на химический состав и некоторые физико-химические показатели молока коз породы зааненская. По результатам исследований, авторы пришли к выводу, что использование пробиотиков «Плантарум» и «Целлобактерин+» способствует увеличению массовой доли жира в молоке соответственно на 16,9 ($p < 0,05$) и 18,7 % ($p < 0,05$) по сравнению с контролем. Превосходство по концентрации белка в молоке на 20,9–23,0 % по сравнению с контрольными значениями ($p < 0,05$) установлено при внесении в рацион коз пробиотика «Плантарум». Использование данного препарата способствует повышению уровня титруемой кислотности молока на 8,4–9,2 % ($p < 0,05$). Установлен отсроченный пролонгированный эффект от скармливания препаратов.

Недавно были получены сведения, указывающие на положительное воздействие комбинации пробиотиков и пребиотиков. Доказано, что скармливание пробиотиков и пребиотиков способствует лучшему перевариванию и использованию питательных и биологически активных веществ рационов, нормализации метаболических процессов, повышению общей резистентности и продуктивных качеств животных [77, 78]. Отмечен синергетический эффект в снижении популяции патогенных бактерий пищевого происхождения у животных при скармливании синбиотиков [9].

Л. А. Морозова и др. [79], изучив влияние пробиотиков и пребиотиков в чистом виде, а также в комплексе на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров в период раздоя, советуют включать в их рацион пробиотическую добавку «Лактур» в объеме 2 кг на тонну концентрированных кормов и пребиотическую добавку «Асид Лак» в объеме 3 кг на тонну концентратов, так как они способствуют увеличению надоя молока на 8,3 %, улучшению его биологической ценности и положительно воздействуют на воспроизводительную способность коров.

С целью максимального усвоения питательных веществ из рациона животными и повышения эффективности работы системы пищеварения в последние годы в кормлении жвачных все чаще применяются пребиотические добавки. В состав пребиотиков могут входить различные компоненты, такие как клетчатка, янтарная кислота, жмыхи, витаминные и минеральные премиксы, олигосахариды, что позволяет достичь максимального эффекта от их использования. На основании чего исследователей особенно привлекают полисахариды и олигосахариды, извлекаемые из сырья растений. Эти высокомолекулярные соединения способствуют лучшему усвоению минералов и повышают устойчивость к различным болезням и, как результат, укрепляют иммунную систему [80, 81, 82, 83].

М. И. Сложенкина с коллегами [84] провели эксперимент, в котором изучили воздействие добавки крахмального полисахарида на продуктивность и качество молока крупного рогатого скота, а также на кисломолочные продукты из этого молока. Результаты исследования доказали, что вносить в рацион крахмальный полисахарид в дозе 80 г/гол. в сутки эффективно. Молочная продуктивность опытных групп оказалась выше в интервале 5,7–10,2 %, качество молока улучшилось по содержанию жира на 5,7–10,2 %, по белку – на 0,02–0,07 %. Молоко с высоким уровнем питательной ценности, полученное от коров, которым скармливали пребиотическую добавку, целесообразно использовать для изготовления детского питания, где важны безопасность и качество продукта. Кроме того, стандартизация готовой продукции по содержанию жира позволит увеличить выход из единицы сырья.

Влияние добавления в рацион жвачных ферментных препаратов на продуктивность и качество молока. Кормовые добавки на основе ферментов способны улучшать усвоение питательных веществ, по этой причине они являются важными элементами рецептов комбикормов-концентратов для молодняка крупного рогатого скота. На данный момент в животноводстве наиболее распространены препараты, состоящие из ксиланазы, целлюлазы и β -глюканазы. Обычно в качестве наполнителей для этих добавок выступают компоненты на основе органических соединений или их смесей, что обеспечивает соответствие нормам ввода в комбикорма, принятым в промышленности [85].

Х. Х. Аззаз и др. (H. H. Azzaz et al., 2021) установили, что фермент целлюлаза, полученный из *Penicillium chrysogenum*, лучше усваивался организмом при добавлении в рацион лактирующих буйволиц. Кроме того, добавление в рацион ферментов целлюлазы (контрольный рацион по сравнению с дополнением коммерческого источника фермента целлюлазы) привело к значительному улучшению суточного удоя, жирности молока и состава жирных кислот. Повышение удоев и жирности цельного молока может быть связано с улучшением усвоения питательных веществ [86]. Целлюлазные ферменты положительно влияют на потребление корма из-за потенциальных изменений вязкости содержимого кишечника, изменений ферментации в рубце, усиления прикрепления и колонизации микроорганизмами рубца и дополнительным выделением ими ферментов [87]. Повышение усвояемости питательных веществ также может быть объяснено возможным синергетическим эффектом между экзогенными и эндогенными ферментами, которые могут действовать как модулятор условий, увеличивающий количество фибролитических и нефибролитических микроорганизмов в рубце [88]. Увеличение содержания жира и удоя за счет добавления ферментов целлюлазы может быть связано с большим количеством клетчатки, перевариваемой в рубце, что способствует образованию большего количества ацетата для синтеза жирных кислот [89].

Дж. Дж. Ромеро и др. (J. J. Romero et al., 2016) установили, что добавление «ксиланазы плюс» в дозировке 1 мл/кг сухого вещества в общий смешанный рацион увеличило потребление сухого вещества, органического вещества и сырого протеина, повысило удои на 3-й, 6-й и 7-й неделях, как и добавление смеси «целлюлазы плюс» и «ксиланазы плюс» на 6-й, 8-й и 9-й неделях. Оба экзогенных фибролитических фермента повышали средний удой и средний выход молочного жира. Не было выявлено влияния двух экзогенных фибролитических ферментов на показатели переваримости, концентрацию компонентов молока и его надоев, а также на содержание лактозы, эффективность корма, живую массу, изменение живой массы, индекс телосложения. Кроме того, добавка с экзогенными фибролитическими ферментами не повлияла на кинетику расщепления сухого вещества в рубце или показатели ферментации в рубце. Это исследование подтверждает гипотезу о том, что «ксиланаза плюс»

в дозировке 1 мл/кг сухого вещества и смесь «целлюлазы плюс» и «ксиланазы плюс» в количестве 3,4 мл/кг сухого вещества может быть использована для повышения продуктивности лактирующих молочных коров. Исследование также подтверждает вторую гипотезу о том, что «ксиланаза плюс» в дозировке 1 мл/кг сухого вещества более результативна, чем смесь «целлюлазы плюс» и «ксиланазы плюс» в концентрации 3,4 мл/кг сухого вещества в повышении продуктивности коров, поскольку «ксиланаза плюс» более эффективна в повышении переваримости [90].

А. А. Печ-Сервантес и др. (A. A. Pech-Cervantes et al., 2021) добавляли в рацион, который содержал 10 % силоса из бермудской травы, экзогенный фибролитический фермент, богатый ксиланазой, и в ходе анализа полученных результатов отметили увеличение потребления перевариваемых нейтральных пищевых волокон, повышение концентрации молочного белка и расщепляемости сухого вещества. Однако экзогенный фермент ксиланаза не влиял на удой и снижал эффективность использования корма у коров в начале лактации [91].

А. И. Козинец [85] изучил эффективность использования в составе комбикормов-концентратов КР-1, КР-2 и КР-3 для молодняка крупного рогатого скота трепела в качестве наполнителя ферментных препаратов, включающих ксиланазу, целлюлазу, β -глюканазу и фитазу, взамен применяемого в составе органического компонента – пшеничной муки и пришел к выводу, что среднесуточные приросты молодняка крупного рогатого скота с использованием трепелсодержащих ферментных кормовых добавок в составе комбикормов-концентратов КР-1, КР-2 и КР-3 повышались на 5,8–6,2 %, 2,4–2,8 и 5,8–6,9 % соответственно.

Заключение. Существенная польза от применения кормовых добавок растительного, животного и микробного происхождения подтверждена многочисленными научными изысканиями. Эти добавки улучшают продуктивность животных, укрепляют их здоровье и нормализуют физиологические процессы в пищеварительной системе. Благодаря развитию методов получения биологически активных компонентов и эффективному использованию отходов пищевой индустрии, открываются новые возможности для разработки инновационных кормовых решений.

В связи с негативным воздействием синтетических добавок на здоровье животных,

сегодня особенно востребовано обогащение рационов кормовыми добавками, созданными на основе натуральных компонентов. Включение в корм растительных ингредиентов, таких как семена чиа и льна, молодые побеги крапивы и сублимированная клюква, позволяет существенно улучшить химический состав, биологическую ценность, вкус и общие органолептические свойства молочной продукции. Ученые разработали новую теорию, объясняющую растущий интерес к применению натуральных растительных соединений в животноводстве, которые рассматриваются как естественные альтернативы антибиотикам и синтетическим добавкам, способные повысить эффективность кормов и продуктивность крупного рогатого скота.

Для достижения максимальной молочной продуктивности и поддержания здоровья животных необходимо тщательно планировать рацион коров с учетом лимитирующих аминокислот. Применение кормовых добавок с защищенными аминокислотами – эффективный способ повышения надоев и улучшения качества молока.

Для нормального пищеварения, усвоения корма, поддержания внутреннего баланса и защиты от болезней необходима здоровая микрофлора. В связи с этим новые комплексные кормовые добавки, такие как пробиотики, содержащие быстрорастущие микроорганизмы, способны производить ценные питательные и биологически активные вещества, что положительно сказывается на метаболизме, росте

и продуктивности животных. Пребиотики улучшают усвоение минералов и повышают иммунную защиту, делая организм более устойчивым к болезням. Молоко от коров, получавших пребиотики, обладает высокой питательной ценностью и идеально подходит для производства детского питания, где безопасность и качество имеют первостепенное значение. Стандартизация жирности готовой продукции также повысит эффективность использования сырья.

В животноводстве широко применяются ферментные добавки, такие как ксиланазы, целлюлазы и β -глюканызы. Их часто смешивают с органическими наполнителями, чтобы соответствовать промышленным стандартам дозировки в комбикормах. Целлюлазы улучшают поедаемость корма, влияя на вязкость кишечного содержимого, ферментацию в рубце, способствуя колонизации рубцовыми микроорганизмами и их дополнительной ферментной активности. Улучшение усвоения питательных веществ ферментами связано с синергией между добавленными и собственными ферментами животного, которые оптимизируют среду рубца, стимулируя рост как фибролитических, так и нефибролитических бактерий.

Дальнейшие исследования должны быть направлены на изучение подробного механизма действия растительных компонентов, оптимизацию их комбинаций и разработку эффективных технологий производства и применения натуральных кормовых добавок.

Список литературы

1. Li S. S. Influence of mineral and protein additives on cows' dairy productivity. Bulletin of the Altai State Agrarian University. 2015;5(127):110–113.
2. Требухов А. В. Изменения биохимических показателей крови у коров и телят при нарушении углеводного и жирового обмена. Ветеринария. 2021;(5):50–54. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.5.50-54> EDN: HEDOCY
3. Рогачев В. А., Ли С. С., Степаненко Е. С. Дифференцированное и комплексное влияние различных кормовых добавок на молочную продуктивность коров. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2012;(5(91)):86–89. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17716332> EDN: NKXWIL
4. Elenshleger A., Lelak A., Nozdryn G., Trebukhov A. The effect of probiotic Vetom 2 on themicrobial intestinal landscape in calves after antibiotic therapy. IOP Conference Series: Earthand Environmental Science. 2019;341:012150. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012150>
5. Kaur P., Kaur K., Basha S. J., Kennedy J. F. Current trends in the preparation, characterization and applications of oat starch – A review. International Journal of Biological Macromolecules. 2022;212:172–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.117>
6. Wang G., Chen Y., Xia Y., Song X., Ai L. Characteristics of probiotic preparations and their applications. Foods. 2022;11(16):2472. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162472>
7. Грудина Н. В., Грудин Н. С., Быданова В. В. Кормовые добавки нового типа для повышения продуктивности жвачных животных. Молодой ученый. 2015;(8-3(88)):19–21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23295957> EDN: TPUKTL
8. Шаабан М. Анализ российского рынка кормовых добавок (обзор). Животноводство и кормопроизводство. 2023;106(3):76–91. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-76> EDN: DJXHPW
9. Kiran, Deswal S. Role of feed additives in ruminant's production: A review. The Pharma Innovation Journal. 2020;9(2):394–397. URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2020/vol9issue2/PartH/9-2-53-919.pdf>

10. Калашников А. П., Щеглов В. В. Совершенствование норм энергетического и протеинового питания животных. Зоотехния. 2000;(11):14–17.
11. Baines D., Erb S., Lowe R., Kelly T., Emil S., Gretchen K. et al. A prebiotic, Celmanax, decreases *Escherichia coli* O157:H7 colonization of bovine cells and feed-associated cytotoxicity in vitro. BMC Research Notes. 2011;4(1):110. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-0500-4-110>
12. Vandeplas S., Dubois Dauphin R., Beckers Y., Vandeplas S., Dubois Dauphin R., Beckers Y. et al. Salmonella in chicken: current and developing strategies to reduce contamination at farm level. Journal of Food Protection. 2010;73(4):774–785. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.4.774>
13. Patra A. K. Effects of Essential Oils on Rumen Fermentation, Microbial Ecology and Ruminant Production. Asian Journal of Animal and Veterinary Advances. 2011;6(5):416–428. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajava.2011.416.428>
14. Van Zijderveld S. M., Dijkstra J., Perdok H. B., Newbold J. R., Gerrits W. J. J. Dietary inclusion of yucca powder, calcium fumarate, diallyl disulphide, an extruded linseed product, or medium chain fatty acid does not affect methane production in lactating dairy cows. Journal of Dairy Science. 2011;94(6):3094–3104. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4042>
15. Paul S. S. Nutrient Requirements of Buffaloes. Revista Brasileira de Zootecnia. 2011;40:93–97.
16. Bogolyubova N. V., Zaytsev V. V., Shalamova S. A. Methods of regulating physiological and biochemical processes and improving performance of dairy cows summer period. Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018;9(4):1390–1395. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35599929> EDN: XZFWYH
17. Makurina O. V., Zaitsev V. V., Kolesnikov A. V., Sokol O. V., Sadykhova A. V. Aging changes' inhibition of hemostasis and blood rheological features on the background of antioxidant liposomal preparation «lipovitam-beta» application. Bali Medical Journal. 2018;7(1):114–119. DOI: <https://doi.org/10.15562/bmj.v7i1.626>
18. Зайцев В. В., Сеитов М. С., Зайцева Л. М., Емельянова И. С., Поликашина Ю. М. Влияние биологически активных добавок на молочную продуктивность коров. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2022;2(94):288–292. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-288-292> EDN: VIHRUJ
19. Mammi L. M. E., Palmonari A., Fustini M., Cavallini D., Canestrari G., Chapman J. et al. Immunomodulator feed supplement to support dairy cows health and milk quality evaluated in Parmigiano Reggiano cheese production. Animal Feed Science and Technology. 2018;242:21–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.05.011>
20. Cavallini D., Mammi L. M. E., Palmonari A., García-González R., Chapman J. D., McLean D. J., Formigoni A. Effect of an immunomodulatory feed additive in mitigating the stress responses in lactating dairy cows to a high concentrate diet challenge. Animals. 2022;12(16):2129. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12162129>
21. Giorgino A., Raspa F., Valle E., Bergero D., Cavallini D., Gariglio M. et al. Effect of dietary organic acids and botanicals on metabolic status and milk parameters in mid-late lactating goats. Animals. 2023;13(5):797. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13050797>
22. Palmonari A., Cavallini D., Sniffen C. J., Fernandes L., Holder P., Fusaro I. et al. In vitro evaluation of sugar digestibility in molasses. Italian Journal of Animal Science. 2021;20(1):571–577. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1899063>
23. Afzal A., Hussain T., Hameed A. Moringa oleifera supplementation improves antioxidant status and biochemical indices by attenuating early pregnancy stress in Beetal goats. Frontiers in Nutrition. 2021;8:1–13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.700957>
24. Kamruzzaman M., Torita A., Sako Y., Al-Mamun M., Sano H. Effects of feeding garlic stem and leaf silage on rates of plasma leucine turnover, whole body protein synthesis and degradation in sheep. Small Ruminant Research. 2011;99(1):37–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.052>
25. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. Biological effects of essential oils – a review. Food and Chemical Toxicology. 2008;46(2):446–475. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
26. Rochfort S., Parker A. J., Dunshea F. R. Plant bioactives for ruminant health and productivity. Phytochemistry. 2008;69(2):299–322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.017>
27. Karaskova K., Suchy P., Strakova E. Current use of phytogetic feed additives in animal nutrition: A review. Czech Journal of Animal Science. 2015;60(12):521–530. DOI: <https://doi.org/10.17221/8594-CJAS>
28. Mnayer D., Fabiano-Tixier A. S., Petitcolas E., Ruiz K., Hamieh T., Chemat F. Simultaneous extraction of essential oils and flavonoids from onions using turbo extraction distillation. Food Analytical Methods. 2015;8:586–595. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9884-9>
29. Wilkins M. R., Widmer W. W., Grohmann K. Simultaneous saccharification and fermentation of citrus peel waste by *Saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. Process Biochemistry. 2007;42(12):1614–1619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.09.006>
30. Tripodo M. M., Lanuzza F., Micali G. Citrus waste recovery: A new environmentally friendly procedure to obtain animal feed. Bioresource Technology. 2004;91(2):111–115. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00183-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00183-4)
31. Kamalak A., Atalay A. I., Ozkan C. O., Tatliyer A., Kaya E. Effect of essential orange (*Citrus sinensis* L.) oil on rumen microbial fermentation using in vitro gas production technique. The Journal of Animal & Plant Sciences. 2011;21(4):764–769. URL: <https://thejaps.org.pk/docs/21-4/22.pdf>
32. Mirunalini S., Dhamodharan G., Karthishwaran K. A natural wonder drug helps to prevent cancer: Garlic oil. Notulae Scientia Biologicae. 2010;2(1):4–19.

33. Mnayer D., Fabiano-Tixier A. S., Petitcolas E., Ruiz K., Hamieh T., Chemat F. Simultaneous extraction of essential oils and flavonoids from onions using turbo extraction/distillation. *Food Analytical Methods*. 2015;8:586–595. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9884-9>
34. Soliman S. M., Hassan A. A., Bassuony N. I., El-Morsy A. M. Effect of Biological Extract Supplementation on Milk Yield and Rumen Fermentation in Dairy Cows. *International Journal of Dairy Science*. 2020;15(2):88–98. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijds.2020.88.98>
35. Iztileuov M., Ospanov A., Dikhanbayeva F., Smailova Z., Zhunussova G. Quality and safety of new types of dairy products based on cow's and mare's milk with vegetable additives. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2024;6(1):42. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00218-0>
36. Yeszhanova G. T., Baykadamova G. A., Mutushev A. Zh., Isalieva A. K. The effect of a feed additive enriched with plant extracts on blood metabolism and milk quality in cows. *Science and education*. 2023;(1-1):149–158. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2023-1-1-149-158>
37. Фролов А. И., Бетин А. Н. Влияние органического комплекса на продуктивность и качество молока коров. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2019;(2(46)):28–31. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2019.46.2.006> EDN: WRHATE
38. El-Abid K., Nikhaila A. A. A study on some non-genetic factors and their impact on milk yield and lactation length of Sudanese Nubian goats. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2010;4(5):735–739. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103359544>
39. Chilliard Y., Rouel J., Ferlay A., Bernard L., Gaborit P., Raynal-Ljutovac K. et al. Optimising goat's milk and cheese fatty acid composition. Improving the fat content of foods. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2006. pp. 281–312. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781845691073.2.281>
40. Kholif A., El-Gawad M. A. M. Medicinal plant seeds supplementation of lactating goats diets and its effects on milk and cheese quantity and quality. *Egyptian Journal of Dairy Science*. 2001;29(1):139–150.
41. Frankič T., Voljč M., Salobir J., Rezar V. Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2009;94(2):95–102. DOI: <https://doi.org/10.14720/aas.2009.94.2.14834>
42. Wina E., Muetzel S., Becker K. The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(21):8093–8105. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf048053d>
43. Basch E., Ulbricht C., Kuo G., Szapary P., Smith M. Therapeutic applications of Fenugreek. *Alternative Medicine Review*. 2003;8(1):20–27. URL: <http://inconnate.com/Download/Fenugreek/document3.pdf>
44. Smit P. H. J. The effect of a natural feed additive, fenugreek, on feed digestibility and milk response in dairy goats. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Animal Science in the Faculty of AgriSciences at Stellenbosch University. 2014, 117 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/37436969.pdf>
45. Saleh A. A., Soliman M. M., Yousef M. F., Eweedah N. M., El-Sawy H. B., Shukry M. et al. Effects of herbal supplements on milk production quality and specific blood parameters in heat-stressed early lactating cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1180539. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1180539>
46. Cholewa J. M., Guimarães-Ferreira L., Zanchi N. E. Effects of betaine on performance and body composition: a review of recent findings and potential mechanisms. *Amino Acids*. 2014;46(8):1785–1793. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1748-5>
47. Sisi L., Haicho W., Jie F. Betaine improves growth performance by increasing digestive enzymes activities, and ameliorating intestinal structure of piglets. *Journal of Animal Science*. 2019;97(S3):80. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.165>
48. Li M., Cui X., Jin L. Bolting reduces ferulic acid and flavonoid biosynthesis and induces root lignification in *Angelica sinensis*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022;170:171–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.005>
49. Trebukhov A., Shaganova E., Momot N., Kolina J., Terebova S. The effect of various additives on milk productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1043(1):012025. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012025>
50. Утижев А. З., Коков Т. Н. Обогащенный бентонитом силос в рационах молочных коров. *Зоотехния*. 2011;(5):12–14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16322239> EDN: NTERGF
51. Арнаутовский И. Д., Гусева С. А. Значение балансирующих БВМД и цеолитов в рационах коров для получения экологически чистого молока в условиях Приамурья. *Зоотехния*. 2009;(4):9–11. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12609308> EDN: KPYEFV
52. Сидорова А. Л. Активированные цеолиты в рационах телят. *Зоотехния*. 2009;(4):11–13. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12609309> EDN: KPYEGF
53. Власенко Д. В., Гамко Л. Н. Влияние минерально-витаминной добавки на молочную продуктивность и морфобиохимические показатели крови дойных коров. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2017;1:38–48.
54. Гамко Л. Н., Семусева Н. А. Влияние комплексной кормовой добавки на продуктивность и некоторые морфобиохимические показатели крови дойных коров. *Аграрная наука*. 2017;(3):18–20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28881569> EDN: YIAKDT
55. Суханова С. Ф., Усков Г. Е., Лещук Т. Л., Позднякова Н. А. Сила влияния минеральных добавок на молочную продуктивность коров. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2020;241(1):203–206. DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-241-1-203-207> EDN: HALRMH

56. Кардо Л. Важность протеина для дойных коров. Эффективное животноводство. 2020;(3(160)):74–75. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42909220> EDN: WELKZZ
57. Мошкина С. В., Колганова Т. Ю., Васюхина М. Н., Шманева А. Е. Правильное кормление – залог здоровья животных. Современный агропромышленный комплекс глазами молодых исследователей: мат-лы регион. науч.-практ. конф. молодых ученых. Орел: Орловский ГАУ им. Н. В. Прахина, 2012. С. 123–125.
58. Шакиров Ш. К., Крупин Е. О., Зиннатов Ф. Ф. Фракционный состав протеинов концентрата для дойных коров и его продуктивное действие. Иппология и ветеринария. 2016;(4(22)):88–92. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28093260> EDN: XQTTWTZ
59. Кузнецов А. С., Остренко К. С. Повышение эффективности использования протеина рациона для высокопродуктивных коров. Эффективное животноводство. 2020;(9(166)):94–95. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44589193> EDN: ZBBPRG
60. Подобед Л. И., Руденко Е. В., Пилипченко А. В., Василевский Н. В., Сидюк И. Е. Оптимизация кормления коров при скармливании комплекса защищенных от распада в рубце протеина и крахмала. Зоотехническая наука Беларуси. 2020;55(2):54–60. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43894866> EDN: AGPQCY
61. Чуприна Е. Г., Юрин Д. А., Власов А. Б., Юрина Н. А. Эффективность кормовой добавки с высокой степенью защищенности протеина в кормлении новотельных коров. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021;(1(58)):134–141. DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-58-1-134-141> EDN: NOSVVO
62. Рыболовская В. В. Эффективность использования аминокислот в рационах молочного скота в период раздоя. Научный журнал молодых ученых. 2021;(3(24)):5–9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46630634> EDN: HPFEUM
63. Лешуков К. А., Масалов В. Н. Влияние скармливания кормовой добавки с защищенными аминокислотами и гепатопротектором на продуктивность коров и качество молока. Вестник аграрной науки. 2023;(3(102)):27–35. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.3.27> EDN: JYUUVG
64. Рядчиков В. Г., Шляхова О. Г., Тантани А. А., Филева Н. С. Изучение влияния защищенных от распада в рубце лизина и метионина, на показатели молочной продуктивности и здоровья высокопродуктивных коров. Научный журнал КубГАУ. 2020;(155(01)):194–219. DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-155-016> EDN: PNPQW
65. Баранова Н. С., Хоштария Г. Е. Пищевое поведение высокопродуктивных коров при использовании активатора рубцового пищеварения. Вестник АПК Верхневолжья. 2022;(3(59)):34–39. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.005> EDN: DUKJGL
66. Косилов В. И., Миронова И. В. Эффективность использования энергии рационов коровами черно-пестрой породы при скармливании пробиотической добавки Ветоспоринактив. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2015;(2(52)):179–182. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23401180> EDN: TSCHNV
67. Никулин В. Н., Мустафин Р. З., Биктимиров Р. А. Воздействие пробиотика на рубцовое содержимое молодняка красной степной породы. Вестник мясного скотоводства. 2014;(1(84)):96–100. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21395412> EDN: SAFCEP
68. Миколайчик И. Н., Морозова Л. А., Ступина Е. С. Эффективность современных дрожжевых пробиотиков в коррекции питания телят. Молочное и мясное скотоводство. 2017;(5):23–25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30538805> EDN: ZSHHMF
69. Белоокова О. В., Лоретц О. Г., Горелик О. В. Эффективные микроорганизмы в молочном скотоводстве. Аграрный вестник Урала. 2018;(6(173)):16–21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170376> EDN: XRSJMD
70. Лоретц О. Г., Горелик О. В., Гумеров А. Б., Белооков А. А., Асенова Б. К. Физико-химические показатели молозива и молока коров при применении продуктов биотехнологического производства. Вестник биотехнологии. 2018;(1(15)):14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35184817> EDN: XRYYYN
71. Миколайчик И. Н., Морозова Л. А., Арзин И. В. Практические аспекты применения микробиологических добавок в молочном скотоводстве. Аграрный вестник Урала. 2018;(3(170)):5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170166> EDN: XRSGZN
72. Ярмухаметова В. Р., Мухамедьярова Л. Г., Быкова О. А., Лоретц О. Г., Неверова О. П. Динамика показателей белкового обмена в организме телочек на фоне применения пробиотического препарата. Аграрный вестник Урала. 2018;(3(170)):8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170169> EDN: XRSBAL
73. Сурначева С. В., Смирнова Ю. М., Платонов А. В. Воздействие пробиотиков «Румит» и «Румит-V» на рубцовую активность и продуктивность молочных коров. Вестник аграрной науки. 2024;(3(108)):74–79. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.3.74> EDN: LXQIOY
74. Руин В. А., Кистина А. А., Прытков Ю. Н. Использование пробиотического комплекса в кормлении коров молочной продуктивности. Аграрный научный журнал. 2022;(4):64–66. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp64-66> EDN: EKPUOR
75. Ma Z., Cheng Y., Wang S., Ge J. Z., Shi H. P., Kou J. C. Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2020;104(1):44–55. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13226>
76. Яшкин А. И., Владимиров Н. И., Функ И. А. Качество молока коз при использовании пробиотиков «плантарум» и «целлобактерин+». Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2022;(6(212)):66–72. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-66-72> EDN: BHGKKF

77. Миколайчик И. Н., Морозова Л. А., Дускаев Г. К. Переваримость питательных веществ при скормливании энергетической кормовой добавки в рационах коров. *Ветеринария и кормление*. 2011;(4):14–16.
78. Миронова И. В., Косилов В. И. Переваримость коровами основных питательных веществ рационов коров чёрно-пёстрой породы при использовании в кормлении пробиотической добавки Ветоспорин-Актив. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2015;(2(52)):143–146.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23401166> EDN: TSCHCL
79. Морозова Л. А., Миколайчик И. Н., Чумаков В. Г., Дускаев Г. К., Абилова Г. У. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров, получавших биотехнологические добавки. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018;(5(73)):235–237.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36394644> EDN: YNDPVZ
80. Madsen L. R., Stanley S., Swann P., Oswald J. A survey of commercially available isomaltooligosaccharide – based food ingredients. *Journal of Food Science*. 2017;82(2):401–408. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13623>
81. Gourineni V., Stewart M. L., Icoz D., Zimmer J. P. Gastrointestinal tolerance and glycemic response of isomaltooligosaccharides in healthy adults. *Nutrients*. 2018;10(3):301. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10030301>
82. Ардатская М. Д. Роль пищевых волокон в коррекции нарушений микробиоты и поддержании иммунитета. *Русский медицинский журнал*. 2020;28(12):24–29.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44807054> EDN: RUFSUK
83. García-Núñez I. M., Santacruz A., Serna-Saldívar S. O., Hernandez S. L. C., Amaya Guerra C. A. Assessment of potential probiotic and synbiotic properties of lactic acid bacteria grown in vitro with starch-based soluble corn fiber or inulin. *Foods*. 2022;11(24):4020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11244020>
84. Сложенкина М. И., Горлов И. Ф., Антипова Т. А., Кудряшова О. В., Воронцова Е. С., Брехова С. А. и др. Влияние новой пребиотической кормовой добавки на основе крахмального полисахарида на молочную продуктивность и качественные показатели получаемой продукции. *Животноводство и кормопроизводство*. 2024;107(4):144–155. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-144> EDN: IHEVBL
85. Козинец А. И. Эффективность ферментных кормовых добавок для молодняка крупного рогатого скота при использовании трепела в качестве наполнителя. *Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства*. 2021;(24-1):238–246. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46272082> EDN: APQHBT
86. Azzaz H. H., Abd El Tawab A. M., Khatib M. S. A., Szumacher-Strabel M., Cieślak A., Murad H. A. et al. Effect of Cellulase Enzyme Produced from *Penicillium chrysogenum* on the Milk Production, Composition, Amino Acid, and Fatty Acid Profiles of Egyptian Buffaloes Fed a High-Forage Diet. *Animals (Basel)*. 2021;11(11):3066. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11113066>
87. Wang Y., McAllister T. A., Rode L. M., Beauchemin K. A., Morgavi D. P., Nsereko V. L. et al. Effects of an Exogenous Enzyme Preparation on Microbial Protein Synthesis, Enzyme Activity and Attachment to Feed in the Rumen Simulation Technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*. 2001;85(3):325–332. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2000277>
88. Rojo R., Kholif A. E., Salem A. Z. M., Elghandour M. M. Y., Odongo N. E., Montes De Oca R. et al. Influence of Cellulase Addition to Dairy Goat Diets on Digestion and Fermentation, Milk Production and Fatty Acid Content. *The Journal of Agricultural Science*. 2015;153(8):1514–1523. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000775>
89. Morsy T. A., Kholif A. E., Kholif S. M., Kholif A. M., Sun X., Salem A. Z. M. Effects of Two Enzyme Feed Additives on Digestion and Milk Production in Lactating Egyptian Buffaloes. *Annals of Animal Science*. 2016;16(1):209–222. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0039>
90. Romero J. J., Macías E. G., Ma Z. X., Martins R. M., Staples C. R., Beauchemin K. A., Adesogan A. T. Improving the performance of dairy cattle with a xylanase-rich exogenous enzyme preparation. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(5):3486–3496. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10082>
91. Pech-Cervantes A. A., Ogunade I. M., Jiang Y., Estrada-Reyes Z. M., Arriola K. G., Amaro F. X. et al. Effects of a xylanase-rich enzyme on intake, milk production, and digestibility of dairy cows fed a diet containing a high proportion of bermudagrass silage. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(7):7671–7681. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19340>

References

1. Li S. S. Influence of mineral and protein additives on cows' dairy productivity. *Bulletin of the Altai State Agrarian University*. 2015;5(127):110–113.
2. Trebukhov A. V. Interconnection of changes in biochemical parameters of blood with pathology of carbohydrate and fat metabolism in cows and calves. *Veterinariya = Veterinary*. 2021;(5):50–54. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2021.24.5.50-54>
3. Rogachev V. A., Li S. S., Stepanenko E. S. Differentiated and complex effect of various feed additives on dairy productivity of cows. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2012;(5(91)):86–89. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17716332>
4. Elenshleger A., Lelak A., Nozdryn G., Trebukhov A. The effect of probiotic Vetom 2 on the microbial intestinal landscape in calves after antibiotic therapy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2019;341:012150. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/341/1/012150>
5. Kaur P., Kaur K., Basha S. J., Kennedy J. F. Current trends in the preparation, characterization and applications of oat starch – A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 2022;212:172–181. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2022.05.117>

6. Wang G., Chen Y., Xia Y., Song X., Ai L. Characteristics of probiotic preparations and their applications. *Foods*. 2022;11(16):2472. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11162472>
7. Grudina N. V., Grudin N. S., Bydanova V. V. New type of feed additives for increasing productivity of ruminants. *Molodoy uchenyy = Young Scientist*. 2015;(8-3(88)):19–21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23295957>
8. Shaaban M. Analysis of the Russian feed additives market. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(3):76–91. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-3-76>
9. Kiran, Deswal S. Role of feed additives in ruminant's production: A review. *The Pharma Innovation Journal*. 2020;9(2):394–397. URL: <https://www.thepharmajournal.com/archives/2020/vol9issue2/PartH/9-2-53-919.pdf>
10. Kalashnikov A. P., Shcheglov V. V. Improving the norms of energy and protein nutrition of animals. *Zootekhniya*. 2000;(11):14–17. (In Russ.).
11. Baines D., Erb S., Lowe R., Kelly T., Emil S., Gretchen K. et al. A prebiotic, Celmanax, decreases *Escherichia coli* O157:H7 colonization of bovine cells and feed-associated cytotoxicity in vitro. *BMC Research Notes*. 2011;4(1):110. DOI: <https://doi.org/10.1186/1756-0500-4-110>
12. Vandeplas S., Dubois Dauphin R., Beckers Y., Vandeplas S., Dubois Dauphin R., Beckers Y. et al. Salmonella in chicken: current and developing strategies to reduce contamination at farm level. *Journal of Food Protection*. 2010;73(4):774–785. DOI: <https://doi.org/10.4315/0362-028x-73.4.774>
13. Patra A. K. Effects of Essential Oils on Rumen Fermentation, Microbial Ecology and Ruminant Production. *Asian Journal of Animal and Veterinary Advances*. 2011;6(5):416–428. DOI: <https://doi.org/10.3923/ajava.2011.416.428>
14. Van Zijderveld S. M., Dijkstra J., Perdok H. B., Newbold J. R., Gerrits W. J. J. Dietary inclusion of yucca powder, calcium fumarate, diallyl disulphide, an extruded linseed product, or medium chain fatty acid does not affect methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2011;94(6):3094–3104. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2010-4042>
15. Paul S. S. Nutrient Requirements of Buffaloes. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2011;40:93–97.
16. Bogolyubova N. V., Zaytsev V. V., Shalamova S. A. Methods of regulating physiological and biochemical processes and improving performance of dairy cows summer period. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*. 2018;9(4):1390–1395. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35599929> EDN: XZFWYH
17. Makurina O. V., Zaitsev V. V., Kolesnikov A. V., Sokol O. V., Sadykhova A. V. Aging changes' inhibition of hemostasis and blood rheological features on the background of antioxidant liposomal preparation «lipovitam-beta» application. *Bali Medical Journal*. 2018;7(1):114–119. DOI: <https://doi.org/10.15562/bmj.v7i1.626>
18. Zaytsev V. V., Seitov M. S., Zaytseva L. M., Emel'yanova I. S., Polikashina Yu. M. Influence of biologically active additives on milk productivity of cows. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2022;2(94):288–292. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2022-94-2-288-292>
19. Mammi L. M. E., Palmonari A., Fustini M., Cavallini D., Canestrari G., Chapman J. et al. Immunomodulant feed supplement to support dairy cows health and milk quality evaluated in Parmigiano Reggiano cheese production. *Animal Feed Science and Technology*. 2018;242:21–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2018.05.011>
20. Cavallini D., Mammi L. M. E., Palmonari A., García-González R., Chapman J. D., McLean D. J., Formigoni A. Effect of an immunomodulatory feed additive in mitigating the stress responses in lactating dairy cows to a high concentrate diet challenge. *Animals*. 2022;12(16):2129. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12162129>
21. Giorgino A., Raspa F., Valle E., Bergero D., Cavallini D., Gariglio M. et al. Effect of dietary organic acids and botanicals on metabolic status and milk parameters in mid-late lactating goats. *Animals*. 2023;13(5):797. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani13050797>
22. Palmonari A., Cavallini D., Sniffen C. J., Fernandes L., Holder P., Fusaro I. et al. In vitro evaluation of sugar digestibility in molasses. *Italian Journal of Animal Science*. 2021;20(1):571–577. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2021.1899063>
23. Afzal A., Hussain T., Hameed A. Moringa oleifera supplementation improves antioxidant status and biochemical indices by attenuating early pregnancy stress in Beetal goats. *Frontiers in Nutrition*. 2021;8:1–13. DOI: <https://doi.org/10.3389/fnut.2021.700957>
24. Kamruzzaman M., Torita A., Sako Y., Al-Mamun M., Sano H. Effects of feeding garlic stem and leaf silage on rates of plasma leucine turnover, whole body protein synthesis and degradation in sheep. *Small Ruminant Research*. 2011;99(1):37–43. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.smallrumres.2011.03.052>
25. Bakkali F., Averbeck S., Averbeck D. Biological effects of essential oils – a review. *Food and Chemical Toxicology*. 2008;46(2):446–475. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2007.09.106>
26. Rochfort S., Parker A. J., Dunshea F. R. Plant bioactives for ruminant health and productivity. *Phytochemistry*. 2008;69(2):299–322. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.08.017>
27. Karaskova K., Suchy P., Strakova E. Current use of phytogetic feed additives in animal nutrition: A review. *Czech Journal of Animal Science*. 2015;60(12):521–530. DOI: <https://doi.org/10.17221/8594-CJAS>
28. Mnayer D., Fabiano-Tixier A. S., Petitcolas E., Ruiz K., Hamieh T., Chemat F. Simultaneous extraction of essential oils and flavonoids from onions using turbo extraction distillation. *Food Analytical Methods*. 2015;8:586–595. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9884-9>
29. Wilkins M. R., Widmer W. W., Grohmann K. Simultaneous saccharification and fermentation of citrus peel waste by *Saccharomyces cerevisiae* to produce ethanol. *Process Biochemistry*. 2007;42(12):1614–1619. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procbio.2007.09.006>

30. Tripodo M. M., Lanuzza F., Micali G. Citrus waste recovery: A new environmentally friendly procedure to obtain animal feed. *Bioresource Technology*. 2004;91(2):111–115. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(03\)00183-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(03)00183-4)
31. Kamalak A., Atalay A. I., Ozkan C. O., Tatliyer A., Kaya E. Effect of essential orange (*Citrus sinensis* L.) oil on rumen microbial fermentation using in vitro gas production technique. *The Journal of Animal & Plant Sciences*. 2011;21(4):764–769. URL: <https://thejaps.org.pk/docs/21-4/22.pdf>
32. Mirunalini S., Dhamodharan G., Karthishwaran K. A natural wonder drug helps to prevent cancer: Garlic oil. *Notulae Scientia Biologicae*. 2010;2(1):4–19.
33. Mnayer D., Fabiano-Tixier A. S., Petitcolas E., Ruiz K., Hamieh T., Chemat F. Simultaneous extraction of essential oils and flavonoids from onions using turbo extraction/distillation. *Food Analytical Methods*. 2015;8:586–595. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12161-014-9884-9>
34. Soliman S. M., Hassan A. A., Bassuony N. I., El-Morsy A. M. Effect of Biological Extract Supplementation on Milk Yield and Rumen Fermentation in Dairy Cows. *International Journal of Dairy Science*. 2020;15(2):88–98. DOI: <https://doi.org/10.3923/ijds.2020.88.98>
35. Iztileuov M., Ospanov A., Dikhanbayeva F., Smailova Z., Zhunussova G. Quality and safety of new types of dairy products based on cow's and mare's milk with vegetable additives. *Food Production, Processing and Nutrition*. 2024;6(1):42. DOI: <https://doi.org/10.1186/s43014-023-00218-0>
36. Yeszhanova G. T., Baykadamova G. A., Mutushev A. Zh., Isalieva A. K. The effect of a feed additive enriched with plant extracts on blood metabolism and milk quality in cows. *Science and education*. 2023;(1-1):149–158. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52578/2305-9397-2023-1-1-149-158>
37. Frolov A. I., Betin A. N. The effect of the organic complex on the productivity and quality of cows milk. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2019;(2(46)):28–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2019.46.2.006>
38. El-Abid K., Nikhaila A. A. A study on some non-genetic factors and their impact on milk yield and lactation length of Sudanese Nubian goats. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*. 2010;4(5):735–739. URL: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20103359544>
39. Chilliard Y., Rouel J., Ferlay A., Bernard L., Gaborit P., Raynal-Ljutovac K. et al. Optimising goat's milk and cheese fatty acid composition. Improving the fat content of foods. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition. 2006. pp. 281–312. DOI: <https://doi.org/10.1533/9781845691073.2.281>
40. Kholif A., El-Gawad M. A. M. Medicinal plant seeds supplementation of lactating goats diets and its effects on milk and cheese quantity and quality. *Egyptian Journal of Dairy Science*. 2001;29(1):139–150.
41. Frankič T., Voljč M., Salobir J., Rezar V. Use of herbs and spices and their extracts in animal nutrition. *Acta Agriculturae Slovenica*. 2009;94(2):95–102. DOI: <https://doi.org/10.14720/aas.2009.94.2.14834>
42. Wina E., Muetzel S., Becker K. The impact of saponins or saponin-containing plant materials on ruminant production: A review. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2005;53(21):8093–8105. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf048053d>
43. Basch E., Ulbricht C., Kuo G., Szapary P., Smith M. Therapeutic applications of Fenugreek. *Alternative Medicine Review*. 2003;8(1):20–27. URL: <http://inconnate.com/Download/Fenugreek/document3.pdf>
44. Smit P. H. J. The effect of a natural feed additive, fenugreek, on feed digestibility and milk response in dairy goats. Thesis presented in partial fulfilment of the requirements for the degree of Master of Science in Animal Science in the Faculty of AgriSciences at Stellenbosch University. 2014, 117 p. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/37436969.pdf>
45. Saleh A. A., Soliman M. M., Yousef M. F., Eweedah N. M., El-Sawy H. B., Shukry M. et al. Effects of herbal supplements on milk production quality and specific blood parameters in heat-stressed early lactating cows. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1180539. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1180539>
46. Cholewa J. M., Guimarães-Ferreira L., Zanchi N. E. Effects of betaine on performance and body composition: a review of recent findings and potential mechanisms. *Amino Acids*. 2014;46(8):1785–1793. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00726-014-1748-5>
47. Sisi L., Haicho W., Jie F. Betaine improves growth performance by increasing digestive enzymes activities, and ameliorating intestinal structure of piglets. *Journal of Animal Science*. 2019;97(S3):80. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skz258.165>
48. Li M., Cui X., Jin L. Bolting reduces ferulic acid and flavonoid biosynthesis and induces root lignification in *Angelica sinensis*. *Plant Physiology and Biochemistry*. 2022;170:171–179. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2021.12.005>
49. Trebukhov A., Shaganova E., Momot N., Kolina J., Terebova S. The effect of various additives on milk productivity. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022;1043(1):012025. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012025>
50. Utizhev A. Z., Kokov T. N. Influence of bentonit feeding on physical-chemical milk composition. *Zootekhnika*. 2011;(5):12–14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16322239>
51. Arnautovskiy I. D., Guseva S. A. Importance of balanced PVMS and ceolits in cows ration for get ecological pure milk. *Zootekhnika*. 2009;(4):9–11. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12609308>
52. Sidorova A. L. Activated ceolits in calves rations. *Zootekhnika*. 2009;(4):11–13. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12609309>
53. Vlasenko D. V., Gamko L. N. The influence of mineral-vitamin additive on milk productivity and morph-biochemical blood parameters of cows. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2017;1:38–48. (In Russ.).

54. Gamko L. N., Semuseva N. A. Influence the complex fodder additive on productivity and some morphological-and-biochemical blood signs of milking cows. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2017;(3):18–20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28881569>
55. Suhanova S. F., Uskov G. E., Leshhuk T. L., Pozdnyakova N. A. Force of influence of mineral additives on the dairy productivity of cows. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N. E. Bauman* = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2020;241(1):203–206. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31588/2413-4201-1883-241-1-203-207>
56. Kardo L. The importance of protein for dairy cows. *Effektivnoe zhitovnovodstvo*. 2020;(3(160)):74–75. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42909220>
57. Moshkina S. V., Kolganova T. Yu., Vasyukhina M. N., Shmaneva A. E. Proper feeding is the key to animal health. The modern agro-industrial complex from the eyes of young researchers: Proceedings of the regional scientific and practical conference of young scientists. Orel: *Orlovskiy GAU im. N. V. Prakhina*, 2012. pp. 123–125.
58. Shakirov Sh. K., Krupin E. O., Zinnatov F. F. Fractional composition of dairy cow concentrate proteins and its productive effect. *Ippologiya i veterinariya* = Hippology and veterinary. 2016;(4(22)):88–92. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28093260>
59. Kuznetsov A. S., Ostrenko K. S. Improving the efficiency of protein use in diets for highly productive cows. *Effektivnoe zhitovnovodstvo*. 2020;(9(166)):94–95. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44589193>
60. Podobed L. I., Rudenko E. V., Pilipchenko A. V., Vasilevskiy N. V., Sidyuk I. E. Optimization of cows feeding using complex of protein and starch protected from decomposition in rumen. *Zootehnicheskaya nauka Belarusi* = Zootechnical Science of Belarus. 2020;55(2):54–60. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43894866>
61. Chupurina E. G., Iurin D. A., Vlasov A. B., Iurina N. A. Effectiveness of a feed additive with a high degree of protein protection in feeding fresh cows. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University). 2021;(1):134–141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31677/2072-6724-2021-58-1-134-141>
62. Rybolovskaya V. V. The effectiveness of the use of amino acids in the diets of dairy cattle during the breeding season. *Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh*. 2021;(3(24)):5–9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46630634>
63. Leshchukov K. A., Masalov V. N. The effect of feeding a feed additive with protected amino acids and a hepatoprotector on cow productivity and milk quality. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2023;(3(102)):27–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.3.27>
64. Ryadchikov V. G., Shlyakhova O. G., Tantavi A. A., Fileva N. S. Studying the effect of protected amino acids, lysine and methionine on milk production and health of highly productive cow. *Nauchnyy zhurnal KubGAU* = Scientific Journal of KubSAU. 2020;(155(01)):194–219. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-155-016>
65. Baranova N. S., Khoshtariya G. E. Feeding behavior of highly productive cows when using a ruminal digestion activator. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2022;(3(59)):34–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2022.59.3.005>
66. Kosilov V. I., Mironova I. V. Effectiveness of utilization the diets energy by black-spotted cows fed the Vetosporin - aktiv probiotic supplementation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015;(2(52)):179–182. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23401180>
67. Nikulin V. N., Mustafin R. Z., Biktimirov R. A. The effect of probiotics on the scar contents of young red steppe cattle. *Vestnik myasnogo skotovodstva* = The Herald of Beef Cattle Breeding. 2014;(1(84)):96–100. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21395412>
68. Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Stupina E. S. Efficiency of the latest yeast probiotics in the correction of calf feeding. *Molochnoe i myasnnoe skotovodstvo* = Journal of Dairy and Beef Cattle Farming. 2017;(5):23–25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30538805>
69. Belookova O. V., Loretts O. G., Gorelik O. V. Effective microorganisms in dairy cattle. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2018;(6(173)):16–21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170376>
70. Loretts O. G., Gorelik O. V., Gumerov A. B., Belookov A. A., Asenova B. K. Physico-chemical parameters of colostrum and milk of cows with products of biotechnological production. *Vestnik biotekhnologii* = Bulletin of biotechnology. 2018;(1(15)):14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35184817>
71. Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Arzin I. V. Practical aspects of using microbiological additives in dairy cattle. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2018;(3(170)):5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170166>
72. Yarmukhametova V. R., Mukhamedyarova L. G., Bykova O. A., Lo-retts O. G., Neverova O. P. Dynamics of indexes of protein metabolism in the organism of heifers on the background of the use of the probiotic preparation. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2018;(3(170)):8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35170169>
73. Sumacheva S. V., Smirnova Yu. M., Platonov A. V. Impact of probiotics “Rumit” and “Rumit-V” on rumen activity and productivity of dairy cows. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of agrarian science. 2024;(3(108)):74–79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.3.74>
74. Ruin V. A., Kistina A. A., Prytkov Yu. N. The use of a probiotic complex in feeding dairy cows. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(4):64–66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i4pp64-66>

75. Ma Z., Cheng Y., Wang S., Ge J. Z., Shi H. P., Kou J. C. Positive effects of dietary supplementation of three probiotics on milk yield, milk composition and intestinal flora in Sannan dairy goats varied in kind of probiotics. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2020;104(1):44–55. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13226>
76. Yashkin A. I., Vladimirov N. I., Funk I. A. Goat milk quality when plantarum and cellobacterin+ probiotic products are added to diets. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2022;(6(212)):66–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2022-212-6-66-72>
77. Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Duskaev G. K. Digestibility of nutrients when feeding an energy feed additive in cow diets. *Veterinariya i kormlenie*. 2011;(4):14–16. (In Russ.).
78. Mironova I. V., Kosilov V. I. Digestibility of basic nutrients contained in diets for black-spotted cows supplemented with Vetosporin-Aktiv probiotic. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2015;(2(52)):143–146. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23401166>
79. Morozova L. A., Mikolaychik I. N., Chumakov V. G., Duskaev G. K., Abileva G. U. Milk yields and reproductive qualities of cows fed biotechnological additives. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2018;(5(73)):235–237. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36394644>
80. Madsen L. R., Stanley S., Swann P., Oswald J. A survey of commercially available isomaltooligosaccharide – based food ingredients. *Journal of Food Science*. 2017;82(2):401–408. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.13623>
81. Gourineni V., Stewart M. L., Icoz D., Zimmer J. P. Gastrointestinal tolerance and glycemic response of isomaltooligosaccharides in healthy adults. *Nutrients*. 2018;10(3):301. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu10030301>
82. Ardatskaya M. D. Role of dietary fiber in correcting microbiota disorders and maintaining immunity. *Russkiy meditsinskiy zhurnal*. 2020;28(12):24–29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44807054>
83. García-Núñez I. M., Santacruz A., Serna-Saldívar S. O., Hernandez S. L. C., Amaya Guerra C. A. Assessment of potential probiotic and synbiotic properties of lactic acid bacteria grown in vitro with starch-based soluble corn fiber or inulin. *Foods*. 2022;11(24):4020. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods11244020>
84. Slozhenkina M. I., Gorlov I. F., Antipova T. A., Kudryashova O. V., Vorontsova E. S., Brekhova S. A. et al. Effect of a new prebiotic feed additive based on starch polysaccharide on dairy productivity and quality parameters of the obtained products. *Zhivotnovodstvo i kormoproduktstvo*. 2024;107(4):144–155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-107-4-144>
85. Kozinets A. I. The effectiveness of enzyme feed additives for young cattle when using trepel as a filler. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva*. 2021;(24-1):238–246. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46272082>
86. Azzaz H. H., Abd El Tawab A. M., Khattab M. S. A., Szumacher-Strabel M., Cieślak A., Murad H. A. et al. Effect of Cellulase Enzyme Produced from *Penicilliumchrysogenum* on the Milk Production, Composition, Amino Acid, and Fatty Acid Profiles of Egyptian Buffaloes Fed a High-Forage Diet. *Animals (Basel)*. 2021;11(11):3066. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11113066>
87. Wang Y., McAllister T. A., Rode L. M., Beauchemin K. A., Morgavi D. P., Nsereko V. L. et al. Effects of an Exogenous Enzyme Preparation on Microbial Protein Synthesis, Enzyme Activity and Attachment to Feed in the Rumen Simulation Technique (Rusitec). *British Journal of Nutrition*. 2001;85(3):325–332. DOI: <https://doi.org/10.1079/BJN2000277>
88. Rojo R., Kholif A. E., Salem A. Z. M., Elghandour M. M. Y., Odongo N. E., Montes De Oca R. et al. Influence of Cellulase Addition to Dairy Goat Diets on Digestion and Fermentation, Milk Production and Fatty Acid Content. *The Journal of Agricultural Science*. 2015;153(8):1514–1523. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859615000775>
89. Morsy T. A., Kholif A. E., Kholif S. M., Kholif A. M., Sun X., Salem A. Z. M. Effects of Two Enzyme Feed Additives on Digestion and Milk Production in Lactating Egyptian Buffaloes. *Annals of Animal Science*. 2016;16(1):209–222. DOI: <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0039>
90. Romero J. J., Macias E. G., Ma Z. X., Martins R. M., Staples C. R., Beauchemin K. A., Adesogan A. T. Improving the performance of dairy cattle with a xylanase-rich exogenous enzyme preparation. *Journal of Dairy Science*. 2016;99(5):3486–3496. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2015-10082>
91. Pech-Cervantes A. A., Ogunade I. M., Jiang Y., Estrada-Reyes Z. M., Arriola K. G., Amaro F. X. et al. Effects of a xylanase-rich enzyme on intake, milk production, and digestibility of dairy cows fed a diet containing a high proportion of bermudagrass silage. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(7):7671–7681. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19340>

Сведения об авторах

✉ **Шошина Оксана Вячеславовна**, кандидат биол. наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Российская Федерация, 460000, e-mail: fnbst@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>, e-mail: oksana.shoshina.98@mail.ru

Соболева Наталья Владимировна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории биологических испытаний и экспертиз, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3688-2303>

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биол. наук, профессор РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

Шейда Елена Владимировна, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом кормления, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru; старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», пр. Победы, 13, г. Оренбург, Российская Федерация, 460018, e-mail: post@mail.osu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

Кван Ольга Вилориевна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С. Г. Леушина, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru; старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет», пр. Победы, 13, г. Оренбург, Российская Федерация, 460018, e-mail: post@mail.osu.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

Information about the authors

✉ **Oksana V. Shoshina**, PhD in Biological Science, junior researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4104-3333>, e-mail: oksana.shoshina.98@mail.ru

Natalia V. Soboleva, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Biological Testing and Expertise, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3688-2303>

Galimzhan K. Duskaev, DSc in Biological Science, professor of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

Elena V. Sheida, DSc in Biological Science, leading researcher, Head of the Department of Feeding, Federal Research Centre of Biological Systems and Agro-technologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru; Senior Researcher, Orenburg State University, Pobedy Ave., 13, Orenburg, Russian Federation, 460018, e-mail: post@mail.osu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2586-613X>

Olga V. Kwan, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Feeding Farm Animals and Feed Technology named after S. G. Leushin, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, January 9, 29, Orenburg, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru; Senior Researcher, Orenburg State University, Pobedy Ave., 13, Orenburg, Russian Federation, 460018, e-mail: post@mail.osu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0561-7002>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.998-1006>

УДК 633.14:631.526.323

Новый сорт озимой ржи Лика для северного земледелия

© 2025. Н. А. Набатова✉, Е. И. Уткина

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

Работа выполнена в почвенно-климатических условиях Кировской области. В конкурсном сортоиспытании (2021–2024 гг.) изучены хозяйственно-биологические показатели нового сорта озимой ржи Лика в сравнении со стандартом Фаленская 4 и сортом Батист, включенным в 2023 г. в Государственный реестр селекционных достижений. Для оценки адаптивных показателей сорта Лика использовали метод А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой, по которому рассчитывали параметры общей и специфической адаптивной способности (OAC_i и $\sigma^2_{SAC_i}$), селекционную ценность генотипа ($СЦГ_i$). Расчет параметров экологической пластичности и стабильности признаков (коэффициента регрессии b_i и среднего квадратического отклонения от теоретической линии регрессии $\sigma^2_{\hat{a}}$) проводили по методике S. A. Eberhart и W. A. Russell в изложении В. З. Пакудина. Погодные условия весенне-летнего периода вегетации были контрастными (гидротермический коэффициент – 0,75...2,14), что позволило всесторонне оценить адаптивный потенциал нового сорта в условиях изменяющейся среды. Сорт Лика относится к группе среднепоздних сортов, обладает прочным стеблем средней толщины и устойчивостью к полеганию на уровне стандарта (3,2...5,0 балла). Зимостойкость нового сорта находится на уровне высокостойкого стандарта Фаленская 4 (4,5...5,0 балла), что указывает на высокую устойчивость к неблагоприятным условиям перезимовки. Зерно сорта Лика предназначено для продовольственного использования, характеризуется хорошими хлебопекарными свойствами: число падения 154...250 с; натура зерна 694...713 г/л; содержание белка 11,1...11,6 %. Новый сорт отличается стабильной по годам урожайностью – 4,30...5,44 т/га, что на уровне (2021, 2024 гг.) или достоверно выше (2022, 2023 гг.) стандарта Фаленская 4. В сравнении со стандартом и сортом Батист, сорт Лика характеризовался лучшим сочетанием показателей пластичности ($b_i = 1,11$) и стабильности ($\sigma^2_{\hat{a}} = 0,009$), более высокой общей адаптивной способностью ($OAC_i = 0,15$) и селекционной ценностью генотипа ($СЦГ_i = 2,44$). По результатам государственного сортоиспытания с 2025 г. сорт включен в реестр селекционных достижений по Северному и Волго-Вятскому регионам РФ. Сорт Лика, благодаря высокому продуктивному и адаптивному потенциалам, является перспективным для использования в сельскохозяйственном производстве в условиях северного земледелия.

Ключевые слова: *Secale cereale* L., урожайность, экологическая пластичность, стабильность, селекционная ценность

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 сотрудников лаборатории иммунитета и защиты растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока за фитопатологическую оценку сортов озимой ржи, рецензентов – за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Набатова Н. А., Уткина Е. И. Новый сорт озимой ржи Лика для северного земледелия. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):998–1006. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.998-1006>

Поступила: 10.04.2025

Принята к публикации: 17.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

New winter rye cultivar ‘Lika’ for northern agriculture

© 2025. Natalia A. Nabatova✉, Elena I. Utkina

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

The work was carried out in soil and climatic conditions of the Kirov region. In competitive cultivar testing (2021–2024), the economic and biological indicators of new winter rye cultivar ‘Lika’ were studied in comparison with the ‘Falenskaya 4’ standard and the cultivar ‘Batist’, included in the State Register of Breeding Achievements in 2023. To assess the adaptive indicators of ‘Lika’ cultivar the method of A. V. Kilchevsky and L. V. Khotyleva was used, according to which the parameters of general and specific adaptive ability (GAA_i and $\sigma^2_{SAA_i}$) and the selection value of the genotype (SVG_i) were calculated. The parameters of ecological plasticity and stability of traits (regression coefficient b_i and standard deviation from the theoretical regression line $\sigma^2_{\hat{a}}$) were calculated according to the method of S. A. Eberhart and W. A. Russell as presented by V. Z. Pakudin. The weather conditions of the spring-summer vegetation period were contrasting (hydrothermal coefficient – 0.75...2.14), which made it possible to evaluate the adaptive potential of the new cultivar comprehensively in a changing environment. The cultivar ‘Lika’ belongs to the group of mid-late cultivars, has a strong stem of medium thickness and lodging resistance at the standard level (3.2...5.0 points). Winter hardiness of the new cultivar is at the level of the highly winter-hardy standard ‘Falenskaya 4’ (4.5...5.0 points), which indicates high resistance to unfavorable wintering conditions.

Grain of 'Lika' cultivar is intended for food use, is characterized by good baking properties: falling number 154...250 sec; grain unit 694...713 g/l; protein content 11.1...11.6 %. The new cultivar is distinguished by stable yield over the years – 4.30...5.44 t/ha, which is at the level (2021, 2024) or significantly higher (2022, 2023) than the 'Falenskaya 4' standard. In comparison with the standard and the cultivar 'Batist', the cultivar 'Lika' was characterized by a better combination of plasticity ($b_i = 1.11$) and stability ($\sigma_d^2 = 0.009$), higher general adaptive ability ($GAA_i = 0.15$) and selection value of the genotype ($SVG_i = 2.44$). According to the results of state cultivar testing, since 2025, the cultivar is included in the Register of Breeding Achievements in the Northern and Volga-Vyatka regions of the Russian Federation. The cultivar 'Lika', due to its high productive and adaptive potential, is promising for use in agricultural production in the conditions of northern farming.

Keywords: *Secale cereale* L., yield, ecological plasticity, stability, selection value

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

The authors thank the staff of the Laboratory of Plant Immunity and Protection of FSBI FARC North-East for phytopathological assessment of winter rye cultivars, and 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: Nabatova N. A., Utkina E. I. New winter rye cultivar 'Lika' for northern agriculture. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):998–1006. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.998-1006>

Received: 10.04.2025

Accepted for publication: 17.09.2025

Published online: 31.10.2025

Озимая рожь (*Secale cereale* L. var. *vulgare* Коерн.) занимает важное место в аграрном секторе России благодаря своим уникальным свойствам: высокой адаптивности и зимостойкости, засухо- и кислотоустойчивости, низким требованиям к плодородию почвы [1, 2]. Озимую рожь выращивают в тех регионах, где другие зерновые культуры не способны обеспечить высокие урожаи из-за неблагоприятных условий зимнего периода и недостаточного количества солнечных дней. Рожь превосходит все остальные зерновые культуры по способности давать стабильный урожай, даже в годы с экстремальными погодными условиями [1, 3, 4, 5].

За последнее десятилетие в России наблюдается значительное сокращение площадей, засеваемых рожью [1, 6, 7, 8]. Основная причина – снижение объема потребления зерна этой культуры. В настоящее время только около 9 % валового сбора зерна ржи идет на производство кормов и 91 % используется на продовольственные цели [9]. Основной продукт, производимый из зерна ржи – ржаная мука, спрос на которую в последние годы заметно снизился. Если в 2010 г. годовое производство ржаной муки составляло около 700 тыс. тонн, то к 2023 г. этот показатель снизился до 520 тыс. тонн. Сокращение потребления ржаных продуктов, ограниченное использование зерна на кормовые и технические цели привело к снижению размеров посевных площадей ржи в России. За последние 35 лет посевные площади ржи, по данным Росстата, сократились более чем в 13 раз и в 2024 г.

составили 669 тыс. га. Кировская область, входящая в топ-10 главных производителей ржи в России, также столкнулась с серьезными проблемами. Площади, занятые этой культурой, сократились в 4-5 раз и составляют 58 тыс. га, что является тревожным сигналом для сельского хозяйства региона¹. Несмотря на это озимая рожь сохраняет свою значимость как перспективная экологичная культура, отличный предшественник в севообороте, идеальное сырье для хлебопекарной, комбикормовой, крахмалопаточной, спиртовой и других отраслей промышленности [10].

В соответствии с требованиями современного сельского хозяйства наибольшую ценность представляют сорта, обладающие как высоким потенциалом урожайности, так и способностью реализовать высокий уровень урожайности в годы с различными погодными условиями. В селекции озимой ржи важно находить компромисс между высокой продуктивностью и отзывчивостью на благоприятные условия, с одной стороны, и устойчивостью к стрессовым факторам, с другой [11, 12, 13].

Цель исследований – охарактеризовать новый сорт озимой ржи Лика по хозяйственно-биологическим показателям в почвенно-климатических условиях Кировской области (Волго-Вятский регион РФ).

Научная новизна – проведен анализ хозяйственно ценных показателей нового сорта озимой ржи Лика, включающий оценку урожайности методом регрессионного анализа,

¹Посевные площади, валовые сборы и урожайность ржи в России в 2001-2023 гг. [Электронный ресурс]. URL: <https://ab-centre.ru/news/posevnye-ploschadi-valovye-sbory-i-urozhaynost-rzhi-v-rossii-v-2001-2023-gg> (дата обращения: 31.01.2025).

расчет общей и специфической адаптивной способности, селекционной ценности генотипа, а также коэффициентов пластичности и стабильности. Полученные данные позволили определить реакцию сорта на изменение внешних условий среды и оценить его урожайный потенциал в разные по погодным условиям годы.

Материал и методы. Селекционную работу по созданию сорта озимой ржи Лика осуществляли на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока (г. Киров). Изучение хозяйственно-биологических показателей сорта проводили в 2021–2024 гг. в конкурсном сортоиспытании. Новый сорт сравнивали со стандартом Фаленская 4 и сортом Батист, внесенным в Государственный реестр селекционных достижений в 2023 г. с допуском по Волго-Вятскому и Северному регионам РФ. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, учетная площадь делянок – 10 м², повторность – 6-кратная.

Оценка хозяйственно ценных показателей сортов озимой ржи и учет урожайности проводили в соответствии с Методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур²; поражение посевов снежной плесенью (*Microdochium nivale* (Fr.) Ces.) – по методу В. К. Неофитовой³; устойчивость к полеганию – методом глазомерной оценки по 5-балльной шкале. Для структурного анализа урожая отбирали пробы по 10 растений с каждой делянки. Число падения определяли по методу Хагберга-Пертена (ГОСТ ISO 3093–2016⁴) на приборе Falling Number 1900; натуру – по ГОСТ 10840–2017⁵ на пурке ПХ–1М. Индекс условий среды (I_j), коэффициент пластичности (b_i) и коэффициент стабильности (σ_d^2) рассчитывали по методике С. А. Еберхарт, В. А. Руселл (S. A. Eberhart, W. A. Rusell) в изложении В. З. Пакудина [14]. Общую (OACi) и специфическую (σ^2 CACi) адаптивную способность, селекционную ценность генотипа (СЦГi) определяли по методу А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой [15]. Показатели адаптивности ранжировали согласно методике В. Ю. Урбаха [16]. Для статистической

обработки результатов применяли дисперсионный анализ с использованием программы AGROS 2.07. Расчет показателей адаптивности проведен в Microsoft Office Excel 2016.

Погодные условия 2021–2024 гг. были контрастными по температурному режиму и влагообеспеченности, что позволило в полной мере оценить адаптивные характеристики нового сорта озимой ржи Лика. Условия зимнего периода были неблагоприятными во все годы изучения: повышенная температура на глубине залегания узла кущения под высоким снежным покровом способствовала истощению и выпреванию растений ржи, сильному поражению посевов снежной плесенью (78...100 %). Отрастание растений после перезимовки составило 90...96 %. Благоприятные условия для активного возобновления вегетации растений ржи (теплая погода с небольшим количеством осадков) сложились весной 2023 г., удовлетворительные условия (обильные осадки) отмечены в 2021, 2022 и 2024 гг. Для характеристики влагообеспеченности весенне-летнего периода вегетации использовали гидротермический коэффициент (ГТК), рассчитанный по методике Г. Т. Селянинова⁶. Наибольшие различия во влагообеспеченности наблюдали в 2022 и 2024 гг. (табл. 1). Так, период весенне-летней вегетации в 2022 г. был влажным и прохладным: сумма осадков составила 364 мм (норма 255 мм), средняя температура воздуха за апрель – июль (12,2 °C) была близка к нормативному показателю (12,8 °C). Значение ГТК = 2,14 характеризует 2022 г. как избыточно увлажненный. Весенне-летний период вегетации в 2024 г., наоборот, отличался засушливыми условиями (ГТК = 0,75), в период формирования и налива зерна выпало 45 % осадков от нормы. Весенне-летний период вегетации 2021 г. характеризовался оптимальной влагообеспеченностью (ГТК = 1,17) и повышенным температурным режимом: каждый месяц отмечали превышение среднемесячной температуры воздуха к норме (на +0,3...+3,5 °C). Условия весенней вегетации 2023 г. были наиболее контрастными.

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

³Неофитова В. К. Методы полевой оценки устойчивости сортов озимых зерновых культур к снежной плесени. Минск, 1976. 4 с.

⁴ГОСТ ISO 3093-2016. Зерно и продукты его переработки. Определение числа падения методом Хагберга-Пертена. М.: Стандартинформ, 2019. 16 с. URL: <https://rags.ru/gosts/gost/63781/>

⁵ГОСТ 10840-2017. Зерно. Метод определения натуры. М.: Стандартинформ, 2019. 19 с. URL: <https://rags.ru/gosts/gost/65484/>

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

Основные фазы развития растения ржи проходили в апреле – июне при недостатке влаги (37...85 % от нормы). В период созревания зерна в июле 2023 г. выпало 220 % осадков от нормы,

что привело к сильному полеганию растений. При этом достаточная влагообеспеченность способствовала формированию в 2023 г. высокопродуктивных колосьев с крупным зерном.

Таблица 1 – Характеристика весенне-летнего периода вегетации озимой ржи (апрель – июль, 2021–2024 гг.) /
Table 1 – Characteristics of spring-summer vegetation period of winter rye (April – July, 2021–2024)

Показатель / Parameter	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.
Средняя температура воздуха, °C / Average air temperature, °C	14,8	12,2	13,4	13,4
Сумма эффективных температур (>5 °C) / Sum of effective temperatures (>5 °C)	1232	954	1055	1099
Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm	261	364	284	198
ГТК / Hydrothermal coefficient	1,17	2,14	1,75	0,75

Результаты и их обсуждение. В 2021 г. на государственное сортоиспытание передан новый сорт озимой ржи Лика, созданный в лаборатории селекции и первичного семеноводства озимой ржи ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока методом индивидуально-семейного отбора из гибридной популяции от направленного перекрестного опыления сортов Рада, Рушник, Кипрез, Ниоба и Леда. Исходную популяцию получили в 2014 г. Использование в селекционном процессе материала, максимально адаптированного к почвенно-климатическим условиям региона, и последующего жесткого отбора в условиях провокации (сильное поражение снежной плесенью, повышенная кислотность почвы) позволили получить новый сорт, который по основным показателям соответствует признакам модельного генотипа по зимостойкости, регенерационной способности, густоте продуктив-

ного стеблестоя, продуктивности колоса, качественным показателям зерна.

За период конкурсного сортоиспытания лучшие условия для формирования урожайности зерна сложились в 2023 г. – индекс условий среды (I_j) = 0,61; урожайность сортов – 5,01...5,53 т/га, максимально неблагоприятные условия отмечены в 2024 г. – I_j = -0,53; урожайность – 4,11...4,30 т/га. Урожайность сорта Лика варьировала от 4,30 до 5,44 т/га, что выше стандарта Фаленская 4 на 0,13...0,69 т/га. Достоверное превышение над стандартом (0,69 и 0,43 т/га) отмечено в благоприятных условиях 2022 и 2023 гг.

Последний из включенных в реестр сорт Батист также достоверно превысил стандарт по урожайности в условиях 2022 и 2023 гг. В 2021 и 2024 гг., различия между сортами в опыте были статистически незначимы (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность сортов озимой ржи в конкурсном сортоиспытании, т/га /
Table 2 – Yield of winter rye cultivars in competitive cultivar trial, t/ha

Copt / Cultivar	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее / Average
Лика / 'Lika'	4,61	5,16*	5,44*	4,30	4,88
Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard	4,49	4,47	5,01	4,17	4,54
Батист / 'Batist'	4,27	5,12*	5,53*	4,11	4,76
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	NS	0,45	0,42	NS	NS
Индекс условий среды (I_j) / Environment index (I_j)	-0,26	0,20	0,61	-0,53	-0,26

Примечания: NS – нет достоверных различий; * значимо при $p \leq 0,05$ /
 Notes: NS – no significant differences; * significant at $p \leq 0.05$.

Эффект общей адаптивной способности генотипа (OAC_i) показывает среднее значение признака в большом диапазоне условий окружающей среды. Чем выше значение OAC_i

для конкретного сорта, тем лучше этот сорт способен адаптироваться к различным условиям среды. При оценке OAC_i в исследованиях выделился сорт Лика с максимальным показателем

телем в опыте (0,15). Специфическая адаптивная способность ($\sigma^2\text{CАС}_i$) оценивает стабильность урожайности сорта в определенных условиях окружающей среды. Сорта с наименьшим значением $\sigma^2\text{CАС}_i$ считаются наиболее стабильными. Наибольшей стабильностью в опыте характеризовался стандарт Фаленская 4. Для одновременной оценки сортов на ОАС_i и $\sigma^2\text{CАС}_i$ определяют селекционную ценность

генотипа (СЦГ_i), которая позволяет выделить сорта, сочетающие высокую продуктивность с адаптивными свойствами. Сорт Лика продемонстрировал наибольшее значение СЦГ_i в опыте (2,44), однако данный показатель по сортам не имел существенной разницы, что указывает на относительно равный баланс продуктивности и ее стабильности у сортов в опыте (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели адаптивных свойств сортов озимой ржи по признаку «урожайность» (2021–2024 гг.) /
Table 3 – Parameters of adaptive qualities of winter rye cultivars according to the "yield" trait (2021–2024)

Copm / Cultivar	b_i	σ_d^2	$\text{ОАС}_i / \text{GAA}_i$	$\sigma^2\text{CАС}_i / \sigma^2\text{SAA}_i$	$\text{СЦГ}_i / \text{SVG}_i$
Лика / 'Lika'	1,11	0,009	0,15	0,27	2,44
Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard	0,72	0,032	-0,19	0,12	2,27
Батист / 'Batist'	1,42	0,019	0,03	0,46	2,38

Примечания: b_i – коэффициент регрессии (пластичность); σ_d^2 – дисперсия (стабильность); ОАС_i – общая адаптивная способность; $\sigma^2\text{CАС}_i$ – варианса специфической адаптивной способности; СЦГ_i – селекционная ценность генотипа /

Notes: b_i – regression coefficient (plasticity); σ_d^2 – variance (stability); GAA_i – general adaptive ability; $\sigma^2\text{SAA}_i$ – variance of specific adaptive ability; SVG_i – selection value of genotype

Коэффициент регрессии (b_i) характеризует реакцию генотипа на изменения условий окружающей среды. Чем выше коэффициент регрессии, тем более пластичным считается сорт. Показатель стабильности (σ_d^2) позволяет проанализировать, насколько устойчив генотип в разных условиях окружающей среды. Чем меньше значение σ_d^2 , тем сорт более стабилен. Таким образом, адаптивным является сорт с коэффициентом регрессии b_i , равным или близким к 1, и значением стабильности σ_d^2 , стремящимся к 0. Новый сорт Лика обладал наилучшими показателями пластичности и стабильности в опыте ($b_i = 1,11$; $\sigma_d^2 = 0,009$).

Согласно рисунку, линия регрессии сорта Лика расположена выше и параллельно линии

стандарта. Это свидетельствует о том, что урожайность сорта Лика во всех средах была выше, чем у стандарта Фаленская 4. Линия регрессии сорта Батист имеет восходящее направление и пересекает линии регрессии сортов Лика и Фаленская 4, что указывает на высокую пластичность сорта Батист, который способен значительно увеличивать урожайность в благоприятных условиях, но в неблагоприятной среде его урожайность снижается. В селекции на адаптивность особенно важно создание в меру пластичных сортов, которые не реагируют на неблагоприятные условия возделывания снижением урожайности, но при этом отзываются на улучшение условий значительной ее прибавкой.

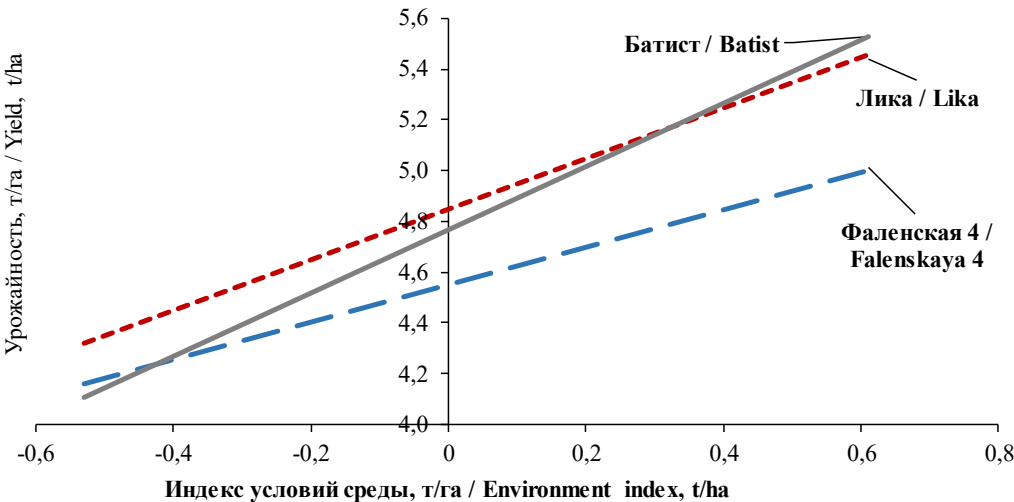


Рис. Линии регрессии урожайности сортов озимой ржи (2021–2024 гг.) /
Fig. Yield regression lines of winter rye cultivars (2021–2024)

Использование системы рангов позволило комплексно сравнить адаптивный потенциал изучаемых сортов и выделить наиболее ценные из них. Каждому сорту ржи присваивался ранг по различным параметрам адаптивности. Сумма рангов показывала уровень адаптивности: чем ниже значение, тем выше адаптивность

сорта. Ранжирование сортов по показателям адаптивности показало преимущество нового сорта озимой ржи Лика по устойчивости к неблагоприятным условиям среды по сравнению со стандартом Фаленская 4 и ранее районированным сортом Батист (табл. 4).

Таблица 4 – Ранжирование сортов озимой ржи по показателям адаптивного потенциала /
Table 4 – Ranking of winter rye cultivars by parameters of adaptive potential

<i>Copt / Cultivar</i>	<i>Ранг / Rank</i>					Σ рангов / Sum of ranks
	b_i	σ_d^2	$OACi / GAAi$	$\sigma^2CACi / \sigma^2SAAi$	$CCFi / SVGi$	
Лика / 'Lika'	1	1	1	2	1	6
Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard	2	3	3	1	3	12
Батист / 'Batist'	3	2	2	3	2	12

В целом сорт Лика можно охарактеризовать как высокоурожайный, адаптивный, с высокой стабильностью при изменении условий среды. Сорт обладает высокой зимостойко-

стью (4,5...5,0 балла) и устойчивостью к полеганию на уровне стандарта Фаленская 4 (3,2...5,0 балла) (табл. 5).

Таблица 5 – Характеристика сорта озимой ржи Лика в сравнении со стандартом Фаленская 4 (2021–2024 гг.) /
Table 5 – Characteristics of winter rye cultivar 'Lika' in comparison with standard 'Falenskaya 4' (2021–2024)

<i>Показатель / Parameter</i>	<i>Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard</i>		<i>Лика / 'Lika'</i>		<i>% к стан- дарту / % to standard</i>
	<i>пределы варьирования / range of variation</i>	<i>среднее / average</i>	<i>пределы варьирования / range of variation</i>	<i>среднее / average</i>	
Урожайность, т/га / Yield, t/ha	4,17...5,01	4,54	4,30...5,44	4,88	107
Густота продуктивного стеблестоя, шт/м ² / Productive stem density, pcs/m ²	356...473	419	398...502	446	106
Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g	24,7...30,6	26,7	24,9...30,5	26,7	100
Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pcs.	2,7...3,6	3,2	2,9...4,3	3,6	113
Поражение снежной плесенью, % / Snow mold infection, %	78,3...100,0	91,1	80,0...98,3	89,3	98
Зимостойкость, балл / Winter hardiness, points	3,8...4,8	4,5	4,5...5,0	4,8	107
Устойчивость к полеганию, балл / Lodging resistance, points	3,2...5,0	4,3	3,2...5,0	4,2	98
Высота растений, см / Plant height, cm	127...151	136	123...147	131	96
Длина колоса, см / Ear length, cm	10,1...11,2	10,6	10,3...11,4	10,9	103
Количество колосков в колосе, шт. / Amount of spikelets in an ear, pcs.	31...34	33	33...35	34	103
Количество зерен в колосе, шт. / Amount of grains in an ear, pcs.	51...54	52	53...56	54	104
Масса зерна с колоса, г / Grain weight per ear, g	1,33...1,62	1,48	1,37...1,67	1,52	103
Количество зерен с растения, шт. / Amount of grains per plant, pcs.	105...176	145	129...191	151	104
Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g	2,47...5,00	3,57	3,70...4,63	4,03	113
Число падения, с / Falling number, sec	110...236	162	154...250	197	122
Натура, г/л / Grain-unit, g/l	708...715	711	694...713	703	99
Содержание белка, % / Protein content, %	10,9...11,5	11,3	11,1...11,6	11,3	100

Зимостойкость для озимой ржи является одной из наиболее важных биологических характеристик. Генетически обусловленная устойчивость к неблагоприятным факторам перезимовки способна нивелировать или ослабить действие стрессовой нагрузки в зимний период. Зимостойкость сорта Лика во все годы изучения была высокой – 4,5...5,0 балла, что в среднем на 7 % выше показателя высокозимостойкого стандарта. Сорт Лика отличался лучшей выраженностью таких показателей, как густота продуктивного стеблестоя, продуктивная кустистость и масса зерна с растения (в среднем на 6–13 % выше стандарта Фаленская 4). Показатели продуктивности колоса сорта Лика (длина колоса, количество колосков

и зерен в колосе, масса зерна с колоса) также несколько превосходят аналогичные показатели стандарта Фаленская 4 (на 3–4 %).

В современных условиях нарастающей инфекционной нагрузки до сих пор остается нерешенным вопрос по созданию устойчивых к болезням сортов, что делает их биологически уязвимыми в эпифитотийных условиях вегетации. Сорт Лика, созданный по селекционной схеме, включающей этапы отборов на искусственных провокационных фонах, характеризуется повышенной устойчивостью к листовым и стеблевым заболеваниям (мучнистой росе, бурой и стеблевой ржавчине) в условиях естественного инфекционного фона (табл. 6).

Таблица 6 – Иммунологическая оценка сорта Лика в условиях естественного инфекционного фона (2021–2024 гг.) /
Table 6 – Immunological evaluation of 'Lika' cultivar under natural infectious background conditions (2021–2024)

Сорт / Cultivar	Поражение, % / Damage, %					
	мучнистой росой / powdery mildew		бурой ржавчиной / brown rust		стеблевой ржавчиной / stem rust	
	пределы варьирования / range of variation	среднее / average	пределы варьирования / range of variation	среднее / average	пределы варьирования / range of variation	среднее / average
Лика / 'Lika'	6,0...11,3	9,2	9,8...21,3	16,2	2,0...30,0	14,8
Фаленская 4, стандарт / 'Falenskaya 4', standard	9,0...24,0	17,0	21,5...32,0	27,4	10,0...60,0	24,7
Батист / 'Batist'	8,0...22,3	17,6	16,5...32,0	23,9	10,0...40,0	20,9

Основное направление использования озимой ржи сорта Лика – продовольственное, поскольку зерно имеет хорошую натуру (694...713 г/л) и число падения (154...250 с), соответствующее 1-му и 2-му классам качества. По содержанию белка сорт Лика находится на уровне стандарта (11,3 %). Активное отращивание весной и формирование плотной зеленой массы делает возможным использование этого сорта в качестве ранневесенней подкормки сельскохозяйственным животным.

С 2025 г. сорт озимой ржи Лика включен в Государственный реестр селекционных достижений и допущен к использованию по Северному и Волго-Вятскому регионам РФ.

Заключение. Сорт озимой ржи Лика выведен методом отбора из гибридной популяции, полученной от переопыления высокоадаптивных районированных и перспективных сортов Рада, Рушник, Кипрез, Ниоба и Леда. Высокая зимостойкость сорта Лика (4,5...5,0 балла) обеспечила высокую регенерационную способность в весенний период и формирование более густого ценоза (на 6 % выше стандарта).

В контрастных погодных условиях в годы конкурсного сортоиспытания сорт Лика сформировал урожайность от 4,30 до 5,44 т/га, что выше стандарта Фаленская 4 на 0,13...0,69 т/га. Достоверное превышение над стандартом (0,69 и 0,43 т/га) отмечено в благоприятных условиях 2022 и 2023 гг. Прибавка урожайности к стандарту обусловлена плотностью продуктивного стеблестоя (выше на 6 %), повышенной продуктивной кустистостью (на 13 %), высокой продуктивностью колоса и комплексной полевой устойчивостью к листовым и стеблевым болезням. Сорт Лика формирует зерно с высокими технологическими качествами, соответствующими 1-му и 2-му классам (число падения 154...250 с; натура зерна 694...713 г/л); содержание белка – 11,3 %. Оценка адаптивных свойств сорта показала благоприятное сочетание пластичности ($b_i = 1,11$) и стабильности ($\sigma_a^2 = 0,009$). Сорт Лика отзывается на улучшение условий возделывания, но в то же время обладает устойчивостью к воздействию неблагоприятных погодных условий Волго-Вятского региона. Сорт хорошо адаптируется в различных

средах, что подчеркивает его высокую селекционную ценность ($OAC_1 = 0,15$; $\sigma^2 CAC = 0,27$; $СЦГ_1 = 2,44$). По большинству хозяйственно-биологических признаков сорт Лика превос-

ходит высокозимостойкий, адаптивный стандарт Фаленская 4, находящийся много лет в первой пятерке сортов по рейтингу высеванных семян в РФ.

Список литературы

1. Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Шамова М. Г., Парфенова Е. С., Набатова Н. А., Шешегова Т. К., Щеклеина Л. М., Шляхтина Е. А. Возделывание озимой ржи в условиях северного земледелия: научно-практические рекомендации. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2021. 120 с.
Режим доступа: <http://fanc-sv.ru/activity/info/izdaniya-2021-g.html>
2. Урбан Э. П., Гордей С. И., Артюх Д. Ю., Гордей И. С. Направления, методы и результаты селекции ржи (*Secale cereale* L.) в Беларуси. Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия аграрных наук. 2022;60(2):160–170. DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170> EDN: VTNHCN
3. Трофимов И. А. Вопросы адаптивности сельского хозяйства Дальнего Востока. Развитие современных систем земледелия и животноводства, обеспечивающих экологическую безопасность окружающей среды: мат-лы Всероссийск. научн. конф. с международным участием, посвящ. 110-летию Пермского НИИСХ. Пермь: изд-во «От и До», 2023. С. 136–140.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54399023&pff=1> EDN: SUXAHG
4. Schreiber M., Himmelbach A., Börner A., Mascher M. Genetic diversity and relationship between domesticated rye and its wild relatives as revealed through genotyping-by-sequencing. Evolutionary Applications. 2019;12(1):66–77. DOI: <https://doi.org/10.1111/eva.12624>
5. Yang W., Ma C. Evolutionary Biology of Rye (*Secale cereale*): Domestication and Adaptation. Triticeae Genomics and Genetics. 2024;15(4):221–233. DOI: <https://doi.org/10.5376/tgg.2024.15.0021>
6. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н. Научные основы селекции озимой ржи. Казань: изд-во ФЭН, 2019. 352 с.
7. Шалаева Л. В. Оценка тенденций производства и потребления ржи в Российской Федерации в разрезе основных факторов и категорий хозяйств. Продовольственная политика и безопасность. 2023;10(3):453–470. DOI: <https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.117097> EDN: HSWPXF
8. Артыкбаев А. З., Сангирова У. Роль зерноводства в промышленном секторе. Онлайн-научный журнал по менеджменту и этике. 2024;4(5):5–10.
Режим доступа: <https://www.sciencebox.uz/index.php/sjeg/article/view/10688>
9. Крупин Е. О., Шакиров Ш. К., Бикчантаев И. Т. Рациональное использование ржи в кормлении дойных коров. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(11):84–87.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24998927> EDN: VBBIPX
10. Сысуев В. А. Рожь – основная стратегическая зерновая культура в обеспечении продовольственной безопасности России. Хлебопечение / Кондитерская сфера. 2016;(4):54–58.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29677872> EDN: YZLLUD
11. Урбан Э. П. Озимая рожь в Беларуси: селекция, семеноводство, технология возделывания. Минск: Беларуская наука, 2009. 269 с.
12. Пономарева М. Л., Пономарев С. Н., Маннапова Г. С., Гильмуллина Л. Ф., Илалова Л. В., Вафина Г. С. Новый сорт озимой ржи «Зилант» с широкой адаптацией. Зерновое хозяйство России. 2021;(1):8–13. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13> EDN: KNLAFY
13. Исмагилов К. Р., Каюмова Р. Р. Стабильность и экологическая пластичность озимых зерновых культур в Республике Башкортостан. Аграрная наука. 2024;(3):114–118. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-114-118> EDN: MMYVTT
14. Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;19(4):109–113.
15. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Генетические основы селекции растений. Т. 1. Общая генетика растений. Минск: Белорусская наука, 2008. С. 61–75.
16. Урбах В. Ю. Биометрические методы: статистическая обработка опытных данных в биологии, сельском хозяйстве и медицине. М.: Наука, 1964. 415 с.

References

1. Utkina E. I., Kedrova L. I., Shamova M. G., Parfenova E. S., Nabatova N. A., Sheshegova T. K., Shchekleina L. M., Shlyakhtina E. A. Cultivation of winter rye in the conditions of northern agriculture: scientific and practical recommendations. Kirov: FGBNU FANTs Severo-Vostoka, 2021. 120 p.
URL: <http://fanc-sv.ru/activity/info/izdaniya-2021-g.html>
2. Urban E. P., Hardzei S. I., Artyukh D. Yu., Hardzei I. S. Directions, methods and results of rye (*Secale cereale* L.) breeding in Belarus. *Izvestiya Natsional'noy akademii nauk Belarusi. Seriya agrarnykh nauk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. 2022;60(2):160–170. (In Belarus). DOI: <https://doi.org/10.29235/1817-7204-2022-60-2-160-170>

3. Trofimov I. A. Issues of adaptability of agriculture in the far east. Development of modern farming and animal husbandry systems that ensure environmental safety: Proceedings of All-Russian Scientific Conference with International participation, dedicated to the 110th anniversary of the Perm Scientific Research Institute. Perm: *izd-vo «Ot i Do»*, 2023. pp. 136–140. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54399023&pf=1>
4. Schreiber M., Himmelbach A., Börner A. Mascher M. Genetic diversity and relationship between domesticated rye and its wild relatives as revealed through genotyping-by-sequencing. *Evolutionary Applications*. 2019;12(1):66–77. DOI: <https://doi.org/10.1111/eva.12624>
5. Yang W., Ma C. Evolutionary Biology of Rye (*Secale cereale*): Domestication and Adaptation. *Triticeae Genomics and Genetics*. 2024;15(4):221–233. DOI: <https://doi.org/10.5376/tgg.2024.15.0021>
6. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N. Scientific foundations of winter rye breeding. Kazan: *izd-vo FEN*, 2019. 352 p.
7. Shalaeva L. V. Trends in rye production and consumption in Russia in the context of the main factors and farm categories. *Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost' = Food Policy and Security*. 2023;10(3):453–470. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18334/ppib.10.3.117097>
8. Artykbaev A. Z., Sangirova U. The role of grain farming in the industrial sector. *Onlayn-nauchnyy zhurnal po menedzhmentu i etike*. 2024;4(5):5–10. (In Uzbekistan). URL: <https://www.sciencebox.uz/index.php/sjeg/article/view/10688>
9. Krupin E. O., Shakirov Sh. K., Bikchantaev I. T. Rational use of rye in the feeding of dairy cows. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(11):84–87. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24998927>
10. Sysuev V. A. Rye is the main strategic grain crop in ensuring Russia's food security. *Khlebopechenie / Konditerskaya sfera*. 2016;(4):54–58. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29677872>
11. Urban E. P. Winter rye in Belarus: breeding, seed production, cultivation technology. Minsk: *Belorusskaya nauka*, 2009. 269 p.
12. Ponomareva M. L., Ponomarev S. N., Mannapova G. S., Gilmullina L. F., Ilalova L. V., Vafina G. S. The new winter rye variety 'Zilant' with broad adaptability. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2021;(1):8–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2021-73-1-8-13>
13. Ismagilov K. R., Kayumova R. R. Stability and ecological plasticity of winter grain crops in the Republic of Bashkortostan. *Agrarnaya nauka*. 2024;(3):114–118. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-380-3-114-118>
14. Pakudin V. Z., Lopatina L. M. Assessment of ecological plasticity and stability of agricultural crops. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 1984;19(4):109–113. (In Russ.).
15. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. Genetic foundations of plant breeding. Vol. 1. General plant genetics. Minsk: *Belorusskaya nauka*, 2008. pp. 61–75.
16. Urbakh V. Yu. Biometric methods: statistical processing of experimental data in biology, agriculture and medicine. Moscow: *Nauka*, 1964. 415 p.

Сведения об авторах

✉ **Набатова Наталья Александровна**, младший научный сотрудник лаборатории селекции и семеноводства озимой ржи, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3845-0168>, e-mail: nabatova43@rambler.ru

Уткина Елена Игоревна, доктор с.-х. наук, зав. отделом озимой ржи, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

Information about the authors

✉ **Natalia A. Nabatova**, junior researcher, the Laboratory of Breeding and Seed Production of Winter Rye, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3845-0168>,
e-mail: nabatova43@rambler.ru

Elena I. Utkina, DSc in Agricultural Science, Head of the Department of Winter Rye, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5650-6906>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние салициловой кислоты на продуктивные признаки регенерантных линий ячменя в условиях почвенных стрессов

© 2025. О. Н. Шуплецова^{1✉}, И. Н. Щенникова¹, С. Н. Шевченко²

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

²ФГБУН Самарский федеральный исследовательский центр Российской академии наук, Самарская область, Российская Федерация

Для создания генотипов зерновых культур, устойчивых к эдафическим стрессорам, активно применяется клеточная селекция. Необходима оценка отобранных *in vitro* генотипов в условиях *in vivo* для подтверждения генетической стабильности целевого признака. Для повышения урожайности регенерантных генотипов возможно использование регуляторов роста с адаптогенным и протекторным действием. В условиях вегетационного опыта проводили сравнительный анализ продуктивных признаков ячменя (*Hordeum vulgare* L.) сорта Боярин и его регенерантных линий R1-поколения на почвенных фонах с засухой ($pH_{KCl} - 6,5$; искусственно созданный водный дефицит), токсичностью алюминия ($pH_{KCl} - 4,8$; $Al - 13$ мг/кг) и кадмия ($pH_{KCl} - 4,7$; $Cd - 6,4$ мг/кг), а также без стрессора (контроль). Оценивали эффективность обработки ячменя салициловой кислотой (СК) (2 мМ/дм³) в качестве стресс-протектора в неблагоприятных почвенных условиях. Определен вклад факторов в формировании урожайности ячменя: почвенный фон – 30,4 %; генотипические особенности – 8,1 %; обработка салициловой кислотой – 0,7 %. Без обработки СК наибольшую урожайность (130 г/м²) в стрессовых (засушливых) условиях имели регенеранты, полученные на селективных средах *in vitro* с водным дефицитом – RA-ПЭГ. Стресспротекторное действие СК выявлено у регенерантов RA-Cd и RA-ПЭГ на фоне с кадмием – превышение по урожайности над исходным сортом составило 59 и 47 г/м² (более чем в два раза) и у регенерантов RA-Al и RA-ПЭГ при отсутствии стрессовых факторов – 29 и 24 г/м² соответственно. Регенерантная линия RA-ПЭГ рекомендована для использования в селекционных программах по созданию засухоустойчивых генотипов.

Ключевые слова: *Hordeum vulgare* L., исходный сорт, регенерант, почвенный фон, алюмокислотность, токсичность кадмия, засуха, стресспротектор, продуктивность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (темы № FNWE-2025-0008, 2022-0007).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н., Шевченко С. Н. Влияние салициловой кислоты на продуктивные признаки регенерантных линий ячменя в условиях почвенных стрессов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1007–1014. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1007-1014>

Поступила: 20.05.2025

Принята к публикации: 19.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Effect of salicylic acid on productive traits of regenerated barley lines under soil stress

© 2025. Olga N. Shupletsova^{1✉}, Irina N. Shchennikova¹, Sergey N. Shevchenko²

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

²Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, Samara region, Russian Federation

Cell selection is actively used to create genotypes of grain crops resistant to edaphic stressors. It is necessary to evaluate the genotypes selected *in vitro* under *in vivo* conditions to confirm the genetic stability of the target trait. To increase the yield of regenerated genotypes, it is possible to use growth regulators with adaptogenic and protective effects. In the conditions of a vegetation experiment, a comparative analysis of the productive traits of 'Boyarin' barley (*Hordeum vulgare* L.) cultivar and its regenerated R1-generation lines was carried out on soil backgrounds with drought ($pH_{KCl} - 6.5$; artificially created water deficit), aluminum toxicity ($pH_{KCl} - 4.8$; $Al - 13$ mg/kg) and cadmium ($pH_{KCl} - 4.7$; $Cd - 6.4$ mg/kg), also without stress (control). The efficiency of barley treatment with salicylic acid (SA) (2 mM/dm³) as a stress protector under unfavorable soil conditions was assessed. The contribution of factors to the formation of barley yield was determined: soil background – 30.4 %, genotypic features – 8.1 %, treatment with salicylic acid – 0.7 %. Without SA treatment, the highest yield (130 g/m²) under stressful (drought) conditions was shown by regenerants obtained on selective media *in vitro* with water deficiency – RA-PEG. The stress-protective effect of SA was revealed against the background of cadmium in the regenerants RA-Cd and RA-PEG, the yield excess was more than twice over the original cultivar, amounting to 59 and 47 g/m², and in the absence of stress factors – in the regenerants RA-Al and RA-PEG by 29 and 24 g/m², respectively. The regenerated line RA-PEG is recommended for use in breeding programs to create drought-resistant genotypes.

Keywords: *Hordeum vulgare* L., original cultivar, regenerant, soil background, aluminum acidity, cadmium toxicity, drought, stress protector, productivity

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2025-0008, 2022-0007).

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

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

For citation: Shupletsova O. N., Shchennikova I. N., Shevchenko S. N. Effect of salicylic acid on productive traits of regenerated barley lines under soil stress. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1007–1014. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1007-1014>

Received: 20.05.2025

Accepted for publication: 19.09.2025

Published online: 31.10.2025

Сельскохозяйственные культуры на протяжении всего вегетационного периода испытывают биотические и абиотические стрессы [1], негативное воздействие которых усиливается со смещением климатических поясов в условиях изменения климата [2]. Стрессоры приводят к разнообразным повреждениям (механическим, физиологическим и др.) растительной ткани, тем самым нарушают нормальное развитие растений [3]: изменяют морфологические признаки, в т. ч. темп роста корней [4, 5]; размер листьев [6]; биохимические показатели, в т. ч. содержание хлорофиллов и каротиноидов [7, 8]. В случае зерновых культур стрессовые факторы непосредственно воздействуют на формирование признаков продуктивности агроценоза, сопряжённых с урожайностью сортов [9].

Необходимо совершенствование методов селекции, направленных на создание сортов, устойчивых к неблагоприятным условиям вегетации. В современной селекции зерновых культур сохраняют свою актуальность традиционные методы, такие как гибридизация и отбор [10]. В то же время их эффективность значительно повышается за счет интеграции биотехнологических подходов, которые способствуют сокращению временных затрат на селекционный процесс, обеспечивая более быстрое достижение желаемых генотипических и фенотипических характеристик [11].

Для получения стрессоустойчивых генотипов ячменя активно используют культуру каллусных клеток с последующей регенерацией растений на селективных средах *in vitro* [12]. Клеточная селекция обеспечивает низкую частоту встречаемости в половых потомствах летальных и вредных мутаций, снижающих жизнеспособность растений; получение в процессе регенерации ценных форм с высоким уровнем адаптации и неспецифической устойчивостью к повреждающим факторам среды [13, 14]. Однако известно, что механизмы клеточной устойчивости и устойчивости растений

в полевых условиях могут не совпадать¹. Кроме того, наследование приобретенных продуктивных и биохимических признаков в потомстве регенерантных растений в большинстве случаев имеет нестабильный характер. При проведении клеточной селекции также необходимо учитывать характер формирования устойчивости растений (полигенный/моногенный) к стрессору. Продуктивность относится к числу признаков, по которым не существует определенного ответа *in vitro*. Для подтверждения генетической стабильности целевого признака нужна оценка отобранных *in vitro* генотипов в полевых испытаниях [15]. Таким образом, для разработки адекватных схем клеточной селекции требуется оценка влияния условий отбора *in vitro*, в т. ч. и на продуктивность.

Комбинация генетически детерминированной устойчивости регенерантных линий к стрессовым факторам с влиянием адаптогенного и протекторного действия новых регуляторов роста может значительно повысить урожайность подобных генотипов. Однако применение данных соединений в целях повышения стрессоустойчивости растений недостаточно изучено. Известны исследования, указывающие на посредническую роль салициловой кислоты (СК) в защите от токсичности кадмия бобовых и зерновых культур [16, 17]. В этом случае экзогенное применение СК оказывало защитное действие на целостность мембран, снижая токсическое воздействие кадмия. Наблюдали снижение содержания пероксида водорода и активности антиоксидантных ферментов в апопластах корней, что могло указывать на снижение стрессированности растений. Однако, несмотря на положительный эффект использования СК в качестве протектора в почвенных условиях с избыточным кадмием, не существует единого мнения относительно ее оптимальной концентрации, также эффективности применения на почве со стрессорами другой природы.

¹Бутенко Р. Г. Биология клеток высших растений *in vitro* и биотехнологии на их основе: учебное пособие. М.: ФБК – Пресс, 1999. 160 с. URL: <https://djvu.online/file/Ow9Rc1NxmQVqq>

Цель исследования – определить отзывчивость регенерантных линий ячменя на обработку салициловой кислотой в условиях эдафических стрессов.

Научная новизна – сравнительный анализ отзывчивости регенерантных и исходных генотипов ячменя на применение регулятора роста с протекторными свойствами в условиях вегетационного опыта со стрессорами различной природы.

Материал и методы. Исследования проводили в вегетационных опытах в условиях, близких к полевым. Вегетационные ёмкости, размером 1,5×1,3×0,3 м ($V = 0,6 \text{ м}^3$), установленные на открытой площадке над поверхностью почвы, заполняли дерново-подзолистой

почвой. Высевали по 35 зерен. После всходов в эксперименте оставляли по 30 растений каждого генотипа с площадью питания растений 4×15 см². В период вегетации осуществляли полив растений водопроводной водой (исключение засушливый фон в сроки моделирования засухи), поддерживая влажность почвы на уровне 60 % от полной влагоемкости².

Объектом исследования служили сорт ячменя ярового Боярин (*Hordeum vulgare* L.) и его регенерантные линии F1-поколения (RA), полученные в каллусной культуре на селективных средах с H^+ , Cd^{2+} , Al^{3+} и полиэтиленгликолем (ПЭГ) в качестве осмотического агента для обеспечения дефицита влаги (табл. 1).

Таблица 1 – Происхождение регенерантных форм ярового ячменя сорта Боярин /
Table 1 – Origin of regenerated forms of spring barley of the 'Boyarin' cultivar

Генотип / Genotype	Селективная среда / Selective medium
Боярин (исходный сорт) / 'Boyarin' (original cultivar)	Контроль / Control
RA-Cd	$\text{Cd}^{2+} - 15 \text{ мг/дм}^3$ (в сульфате) / $\text{Cd}^{2+} - 15 \text{ mg/dm}^3$ (in sulfate)
RA-Al	$\text{Al}^{3+} - 40 \text{ мг/дм}^3$ (в сульфате) / $\text{Al}^{3+} - 40 \text{ mg/dm}^3$ (in sulfate)
RA-ПЭГ	Полиэтиленгликоль (ПЭГ) – 15 % / Polyethylene glycol (PEG) – 15 %

Схема опыта предусматривала посев ячменя на четырех почвенных фонах:

- 1) контроль ($\text{pH}_{\text{КСЛ}} - 6,5$; отсутствие стрессора);
- 2) с токсичностью кадмия ($\text{pH}_{\text{КСЛ}} - 4,7$; $\text{Cd} - 6,4 \text{ мг/кг}$);
- 3) алюмокислый ($\text{pH}_{\text{КСЛ}} - 4,8$; $\text{Al} 13 \text{ мг/кг}$);
- 4) засуха, водный дефицит ($\text{pH}_{\text{КСЛ}} - 6,5$), искусственно созданная засуха (пленочное укрытие) в межфазный период «выход в трубку – колошение».

Варианты: 1. Без обработки СК.

2. Обработка СК.

Обработку растений СК проводили в фазу «кущение» (03.06.2024) и «выход в трубку» (17.06.2024). Растения равномерно опрыскивали 1%-м водно-спиртовым раствором СК с концентрацией 2 мг/дм³. Расход раствора при первой обработке составлял 50 мл/м², второй – 100 мл/м². В варианте без обработки растения опрыскивали эквивалентным количеством 1%-го водно-спиртового раствора.

Проводили сравнительный анализ элементов структуры продуктивности и урожайность регенерантов и исходного сорта на различных почвенных фонах. Оценивали отзывчивость исследуемых генотипов на эффектив-

ность применения СК в качестве стресспротектора/стимулятора роста как разность между показателями элементов структуры продуктивности в контрольном варианте (без обработки СК) и варианте с обработкой СК.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали пакет селекционно-ориентированных и биометрико-генетических программ AGROS, версия 2.07; пакеты прикладных программ Microsoft Excel из стандартного набора Microsoft Office 2013.

Результаты и их обсуждение. Первоначально оценивали реакцию генотипов на почвенные стрессоры по продуктивности (масса зерна с растения) без обработки СК. В контрольном варианте (на почве без стрессоров) продуктивностью на уровне исходного сорта отличился RA-Cd, тогда как у регенерантов RA-Al и RA-ПЭГ этот показатель был значительно ниже – на 0,34 и 0,26 г соответственно (табл. 2). На почвенных фонах с токсичностью алюминия и кадмия отсутствовали статистически значимые различия между регенерантами и исходным сортом. В засушливых условиях RA-ПЭГ превышал остальные регенерантные генотипы на 0,23 г и исходный сорт – на 0,17 г.

²Родина Н. А. Селекция ячменя на Северо-Востоке Нечерноземья: монография. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 488 с.

Таблица 2 – Влияние обработки СК на продуктивность регенерантов и их исходного сорта /
 Table 2 – Effect of salicylic acid treatment on the productivity of regenerants and their original cultivar

Генотип / Genotype	Масса зерна с растения, г / Grain weight per plant, g				± к варианту с обработкой СК / ± to the SA treatment variant
	без обработки СК / without SA treatment		с обработкой СК / with SA treatment		
	г / g	± к исходному сорту / to the original cultivar	г / g	± к исходному сорту / to the original cultivar	
Без почвенных стрессоров (контроль) / No soil stressors (control)					
Исходный сорт / Original cultivar	0,80±0,08	-	0,57±0,05	-	-0,23**
RA-Cd	0,92±0,10	+0,12	0,57±0,10	0	-0,35**
RA-Al	0,46±0,04	-0,34*	0,71±0,05	+0,14*	+0,25**
RA-ПЭГ	0,54±0,05	-0,26*	0,92±0,10	+0,35*	+0,38**
Токсичность кадмия / Cadmium toxicity					
Исходный сорт / Original cultivar	0,87±0,16		0,90±0,15	-	+0,03
RA-Cd	0,83±0,06	-0,04	1,11±0,12	+0,21	+0,28
RA-Al	0,75±0,10	-0,12	0,81±0,16	-0,09	+0,06
RA-ПЭГ	0,94±0,07	+0,07	1,08±0,12	+0,18	+0,14
Алюмотоксичность / Aluminum toxicity					
Исходный сорт / Original cultivar	1,18±0,09	-	1,35±0,10	-	+0,17
RA-Cd	0,95±0,08	-0,23	1,27±0,09	-0,08	+0,32**
RA-Al	0,96±0,16	-0,22	0,81±0,11	-0,54*	-0,15
RA-ПЭГ	1,25±0,13	+0,07	1,06±0,08	-0,29*	-0,19
Засуха / Drought					
Исходный сорт / Original cultivar	0,67±0,04	-	0,85±0,12	-	+0,18
RA-Cd	0,61±0,03	-0,06	0,62±0,06	-0,23	+0,01
RA-Al	0,61±0,03	-0,06	0,59±0,05	-0,26	-0,02
RA-ПЭГ	0,84±0,07	+0,17*	0,81±0,10	-0,04	-0,04

* Достоверные различия от исходного сорта при $p \leq 0,05$ /

* Differs significantly from the original cultivar at $p \leq 0.05$;

** Достоверные различия от варианта без обработки СК при $p \leq 0,05$ /

** Differs significantly from the variant without SA treatment at $p \leq 0.05$

Обработка СК изменила продуктивность ячменя в контрольных почвенных условиях. Регенеранты RA-Al и RA-ПЭГ увеличили массу зерна с растения относительно варианта без обработки СК на 0,25 и 0,38 г соответственно. Эти же регенерантные генотипы показали значимые прибавки по отношению к исходному сорту на 0,14 и 0,35 г соответственно. Тогда как в отсутствие регулятора роста имели показатели существенно ниже исходной формы. Однако в тех же контрольных условиях обработка СК негативно влияла на регенерант RA-Cd и исходный сорт, имеющих относительно высокую продуктивность в варианте без обработки. В этом случае масса зерна с растения снизилась на 0,35 и 0,23 г соответственно.

На стрессовых фонах в большинстве случаев исследуемые генотипы не проявили

реакцию на применение СК, за исключением RA-Cd, который на алюмотоксичном фоне увеличил продуктивность на 0,32 г.

Что касается урожайности – в отсутствие СК исходный сорт (99 г/м²) имел преимущество перед регенерантами, однако достоверно снижал показатели на почве с кадмием на 20 г/м² и засухой на 44 г/м². Урожайность регенерантов RA-Cd и RA-Al на всех стрессовых фонах статистически значимо не отличалась от исходного сорта. Исключение составил RA-ПЭГ, который достоверно увеличил урожайность относительно контроля (НСР₀₅ = 7 г/м²) и исходного сорта на алюмоокислом фоне (на 75 и 11 г/м² соответственно) и при засухе (на 38 и 42 г/м²).

Также оценивали влияние регулятора роста на урожайность ячменя. Значимое поло-

жительное влияние СК на урожайность регенерантов по сравнению с исходным сортом (60 г/м²) было отмечено на контрольном фоне у регенерантов RA-Al (89 г/м²) и RA-ПЭГ – (84 г/м²), на фоне с ионной токсичностью кадмия превышение над исходным сортом (51 г/м²) было более чем в два раза у регенерантов RA-Cd (110 г/м²) и RA-ПЭГ (120 г/м²). В засушливых и алюмокислых условиях при использовании СК статистически значимых изменений на урожайность ячменя не выявлено.

Следует отметить, что в наших исследованиях отличие регенерантных линий от исходного сорта в стрессовых условиях не всегда носило позитивный характер. Подобные результаты показаны в исследованиях О. А. Рожанской [13], по мнению которой в случае использования в процессе клеточной селекции в качестве

исходного высокоурожайного сорта наблюдается высокая частота «негативных» вариаций, ухудшающих селекционные качества нового генотипа; низкая частота «улучшающих» вариаций, несмотря на высокую частоту варьирования признаков продуктивности растений в результате соматической изменчивости каллусной ткани на селективных средах *in vitro*.

Для более подробного изучения воздействия регулятора роста на исследуемые генотипы также проводили сравнительный анализ отдельных элементов структуры продуктивности ячменя в вариантах с обработкой/без обработки СК. Установлено, что СК оказывала влияние на эти показатели, однако степень этого влияния варьировала, как и в целом по продуктивности/урожайности в зависимости от генотипа и условий среды выращивания (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние обработки растений СК на элементы продуктивности ячменя сорта Боярин и его регенерантных линий на различных почвенных фонах /

Table 3 – The effect of plant treatment with salicylic acid on the productivity elements of ‘Boyarín’ barley cultivar and its regenerated lines on different soil backgrounds

Генотип / Genotype	Высота растений, см / Height of plants, cm	Кустистость, шт/раст. / Bushiness, pieces/plant		Длина колоса, см / Ear length, cm	Количество в колосе, шт. / Quantity per ear, pcs	
		общая / total	продуктивная / productive		колосков / ears	зерен / grains
Без почвенных стрессоров (контроль) / No soil stressors (control)						
Исходный сорт / Original cultivar	-8*	+0,1	0	+0,4	-0,2	-2,4*
RA-Cd	+1	-0,2	+0,1	+0,3	-0,8	-3,7*
RA-Al	-2	+0,7*	+0,6*	+0,7*	+0,9	+0,8
RA-ПЭГ	-3	+0,3	+0,4*	+1,0*	+3,1*	+3,6*
Токсичность кадмия / Cadmium toxicity						
Исходный сорт / Original cultivar	-4	-0,4	+0,1	-0,2	-0,6	+0,3
RA-Cd	-1	+0,6*	+0,6*	+0,1	-0,6	-0,7
RA-Al	-8*	+0,4	+0,3	-0,8	-2,7*	-3,5*
RA-ПЭГ	-1	+0,3	+0,3	0	-0,6	-0,9
Алюмотоксичность / Aluminum toxicity						
Исходный сорт / Original cultivar	-1	+0,1	+0,1	+0,6*	+1,2*	+1,6*
RA-Cd	+3*	+0,7*	+0,3	+0,6*	+1,2*	+1,8*
RA-Al	-4*	-0,5*	-0,4	-0,5*	-2,2*	-1,7*
RA-ПЭГ	0	0	-0,1	0	-0,4	-1,8*
Засуха / Drought						
Исходный сорт / Original cultivar	+3	+0,8*	-0,1	-0,5	-0,8	+3,8*
RA-Cd	-6*	+0,7*	0	-0,5*	-1,5*	-1,0
RA-Al	-1	-0,1	0	-0,2	-0,5	-0,4
RA-ПЭГ	-4*	+0,1	0	+0,2	+0,8	+0,2

* Достоверные различия от варианта без обработки СК при $p \leq 0,05$ /

*Differs significantly from the variant without salicylic acid treatment at $p \leq 0.05$

В отдельных случаях под действием СК значительно изменялись показатели – кустистость растений, длина и озерненность колоса. Стимулирующее действие СК в большой степени проявилось у регенеранта RA-Cd, который повышал общую кустистость на 0,6-0,7 шт/раст. (на всех стрессовых фонах), продуктивную – на 0,6 шт/раст. (контроль, фон с кадмием). Кроме того, значимое увеличение всех изучаемых параметров колоса было отмечено у регенерантов RA-Cd на алюмоокислом фоне, у RA-ПЭГ – на контрольном, у исходного сорта – в алюмоокислых и засушливых условиях.

Наряду со стимулирующим действием СК наблюдали и негативное воздействие на элементы продуктивности ячменя. Обработка СК снижала высоту растений и озерненность колоса исходного сорта (в контроле), RA-Al (фон с кадмием и алюмотоксичностью) и RA-Cd (засуха).

Результаты трехфакторного дисперсионного анализа показали, что в целом по опыту наибольший вклад в формирование урожайности оказал почвенный фон (фактор В) – 30,4 %, вклад биологических особенностей изучаемых образцов/генотип (фактор А) составил 8,1 %, обработки салициловой кислотой (фактор С) – всего 0,7 %. В наших исследованиях применение СК не показало стабильного стимулирующего эффекта. В большинстве случаев на обработку СК регенеранты (и в большей степени RA-Cd) были более отзывчивы по сравнению с исходным сортом. Отмечено уменьшение различий по продуктивности / урожайности между обработанными и необработанными растениями в контрольных условиях и на фоне с кадмием, что указывало как на стимулирующее (в контроле), так и на смягчающее/протекторное действие препарата (стресс по кадмию). Известно, что СК способна облегчать стрессовые реакции, вызванные кадмием, путем ингибирования индуцированной кадмием опосредованной ауксином продукции активных форм кислорода

в кончиках корней ячменя [18]. Отсутствие положительных результатов на алюмоокислом (исключение для RA-Cd) и засушливом фонах возможно объясняется следующими факторами: необходимостью корректировки применяемой дозы (2 мМ/дм³) регулятора роста, отсутствием у СК протекторных механизмов, действенных при стрессорах отличными от кадмия, а также жестким давлением этих стрессоров в почвенных условиях.

Заключение. Проведенные исследования выявили различную реакцию исходного сорта Боярин и его регенерантных линий на почвенные стрессоры. В благоприятных условиях выращивания исходный сорт и регенерантная линия RA-Cd превышали по продуктивности RA-Al и RA-ПЭГ. На стрессовых фонах регенерантные генотипы RA-Cd и RA-Al не имели статистически значимых различий по продуктивности от исходного сорта, что в этом случае указывало на необходимость корректировки схем клеточной селекции. Тогда как RA-ПЭГ, индуцированный на селективных средах *in vitro* с водным дефицитом, имел преимущество по продуктивности/урожайности перед исходным сортом в засушливых почвенных условиях, что соответствовало направленности отбора *in vitro* для этого генотипа. В настоящее время регенерантная линия RA-ПЭГ рекомендована для использования в селекционных программах по созданию засухоустойчивых генотипов.

Выявлена эффективность использования СК в качестве протектанта для ячменя в почвенных условиях в отсутствие стрессоров и на фоне с токсичностью кадмия, но в большей степени для генотипов, имеющих низкие продуктивные показатели в этих условиях. Наибольшую отзывчивость на применение СК проявил регенерантный генотип RA-Cd, в результате повышающий продуктивные показатели на всех стрессовых фонах.

Список литературы

1. Ступин А. С., Левин В. И. Комплексная антистрессовая защита зерновых культур при контрастных погодных условиях. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2024;(6):55–60.
DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224060135> EDN: WTLIPE
2. Грабовец А. И., Фоменко М. А. Изменение климата и особенности селекции озимой мягкой пшеницы на продуктивность и адаптивность к нему. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2023;(1):20–25.
DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/1/20-25> EDN: OIFLKO
3. Левин В. И., Дудин Н. Н., Антипкина Л. А., Ушаков Р. Н. Состояние стресса у семян хлебных злаков и методика его диагностики. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2020;(5(187)):28–38.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42880940> EDN: XVAKQB
4. Ma Y., Li C., Ryan P. R., Shabala S., You J., Liu J. et al. A new allele for aluminium tolerance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). BMC Genomics. 2016;17:186.
URL: <https://bmcgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-2551-3>

5. Ofoe R., Thomas R. H., Asiedu S. K., Wang-Pruski G., Fofana B., Abbey L. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*. 2022;(13):1085998. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085998>
6. Batalova G. A., Lisitsyn E. M. Correlation analysis of the parameters of oats assimilation apparatus and productivity elements. *Nexo Revista Cientifica*. 2021;34(01):379–389. DOI: <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i01.11315>
7. Амунова О. А., Лисицын Е. М. Пигментный комплекс листьев сортов мягкой яровой пшеницы разных групп спелости в различных условиях увлажнения. *Самарский научный вестник*. 2019;8(3(28)):19–25. DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-13102> EDN: FXEVTB
8. Каляга Т. Г., Козел Н. В. Влияние почвенной засухи на содержание фотосинтетических пигментов в растениях ячменя сорта Бровар. *Экспериментальная биология и биотехнология*. 2020;(3):46–53. DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-3-46-53> EDN: EQOSTS
9. Гречишкина О. С., Хутамбирдина Р. Д., Мординцев М. П. Величина и структура урожая зерна сортов яровой мягкой пшеницы в условиях засухи разного типа. *Животноводство и кормопроизводство*. 2021;104(4):217–232. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217> EDN: HICWSI
10. Бессараб Н. С. Селекционные достижения как объекты интеллектуальной собственности: история и современность. *Образование и право*. 2024;(1):213–221. DOI: <https://doi.org/10.24412/2076-1503-2024-1-213-221> EDN: QGHWMM
11. Shchennikova I. N., Shupletsova O. N., Kokina L. P. Biotechnology in the Creation of Spring Barley Varieties. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;48(4):264–269. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068367422040139>
12. Шуплецова О. Н., Щенникова И. Н. Результаты использования клеточных технологий в создании новых сортов ячменя, устойчивых к токсичности алюминия и засухе. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2016;20(5):623–628. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ16.183> EDN: WYCWFI
13. Рожанская О. А. О соматической изменчивости растений как источнике биоразнообразия для селекции. *Селекция растений: прошлое, настоящее и будущее: сб. мат-лов I Всеросс. научно-практ. конф. с междунар. участием*. Белгород: Издательский дом «Белгород», 2016. С. 152–156. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30559170> EDN: ZSSWSX
14. Kapazoglou A., Tsaftaris A. Epigenetic chromatin regulators as mediators of abiotic stress responses in cereals. *Abiotic stress in plants – mechanisms and adaptations*. InTech, 2011. pp. 395–414. DOI: <https://doi.org/10.5772/36025>
15. Pérez-Clemente R., Gómez-Cadenas A. In vitro tissue culture, a tool for the study and breeding of plants subjected to abiotic stress conditions. *Recent advances in plant in vitro culture*. InTech, 2012. pp. 91–108. DOI: <https://doi.org/10.5772/50671>
16. Hediji H., Kharbech O., Massoud M. B., Boukari N., Debez A., Chaibi W. et al. Salicylic acid mitigates cadmium toxicity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings by modulating cellular redox status. *Environmental and Experimental Botany*. 2021;186:104432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104432>
17. Metwally A., Finkemeier I., Georgi M., Dietz K. J. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant physiology*. 2003;132(1):272–281. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.102.018457>

References

1. Stupin A. S., Levin V. I. Comprehensive anti-stress protection of grain crops under contrasting weather conditions. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;(6):55–60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224060135>
2. Grabovets A. I., Fomenko M. A. Climate change and selection features of winter soft wheat on productivity and adaptability to it. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2023;(1):20–25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/2500-2082/2023/1/20-25>
3. Levin V. I., Dudin N. N., Antipkina L. A., Ushakov R. N. The state of stress in cereal seeds and methods for its diagnosis. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2020;(5(187)):28–38. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42880940>
4. Ma Y., Li. C., Ryan P. R., Shabala S., You J., Liu J. et al. A new allele for aluminium tolerance gene in barley (*Hordeum vulgare* L.). *BMC Genomics*. 2016;17:186. URL: <https://bmcbgenomics.biomedcentral.com/articles/10.1186/s12864-016-2551-3>
5. Ofoe R., Thomas R. H., Asiedu S. K., Wang-Pruski G., Fofana B., Abbey L. Aluminum in plant: Benefits, toxicity and tolerance mechanisms. *Frontiers in Plant Science*. 2022;(13):1085998. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1085998>
6. Batalova G. A., Lisitsyn E. M. Correlation analysis of the parameters of oats assimilation apparatus and productivity elements. *Nexo Revista Cientifica*. 2021;34(01):379–389. DOI: <https://doi.org/10.5377/nexo.v34i01.11315>
7. Amunova O. A., Lisitsyn E. M. Leaf pigment complex of spring soft wheat cultivars of different maturity groups under different moisture regimes. *Samarskiy nauchnyy vestnik* = Samara Journal of Science. 2019;8(3(28)):19–25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2309-4370-2019-13102>
8. Kaliha T. G., Kozel N. V. The effect of soil drought on the content of photosynthetic pigments in barley plants of the Brovar variety. *Ekspperimental'naya biologiya i biotekhnologiya* = Experimental Biology and Biotechnology. 2020;(3):46–53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33581/2521-1722-2020-3-46-53>
9. Grechishkina O. S., Khutambirdina R. D., Mordvinsev M. P. Amount and structure of grain yield of spring soft wheat varieties in various types of drought conditions. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = Animal Husbandry and Fodder Production. 2021;104(4):217–232. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-104-4-217>

10. Bessarab N. S. Breeding achievements as objects of intellectual property: history and modernity. *Obrazovanie i parvo* = Education and Law. 2024;(1):213–221. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2076-1503-2024-1-213-221>
11. Shchennikova I. N., Shupletsova O. N., Kokina L. P. Biotechnology in the Creation of Spring Barley Varieties. *Russian Agricultural Sciences*. 2022;48(4):264–269. DOI: <https://doi.org/10.3103/S1068367422040139>
12. Shupletsova O. N., Shchennikova I. N. Results of using cell technologies for creation of new barley varieties resistant against aluminum toxicity and drought. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2016;20(5):623–628. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ16.183>
13. Rozhanskaya O. A. On the somaclonal variability of plants as a source of biodiversity for breeding. Plant breeding: past, present and future: collection of materials of the First All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation. Belgorod: *Izdatel'skiy dom «Belgorod»*, 2016. pp. 152–156. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30559170>
14. Kapazoglou A., Tsaftaris A. Epigenetic chromatin regulators as mediators of abiotic stress responses in cereals. Abiotic stress in plants – mechanisms and adaptations. InTech, 2011. pp. 395–414. DOI: <https://doi.org/10.5772/36025>
15. Pérez-Clemente R., Gómez-Cadenas A. In vitro tissue culture, a tool for the study and breeding of plants subjected to abiotic stress conditions. Recent advances in plant in vitro culture. InTech, 2012. pp. 91–108. DOI: <https://doi.org/10.5772/50671>
16. Hediji H., Kharbech O., Massoud M. B., Boukari N., Debez A., Chaibi W. et al. Salicylic acid mitigates cadmium toxicity in bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings by modulating cellular redox status. *Environmental and Experimental Botany*. 2021;186:104432. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2021.104432>
17. Metwally A., Finkemeier I., Georgi M., Dietz K. J. Salicylic acid alleviates the cadmium toxicity in barley seedlings. *Plant physiology*. 2003;132(1):272–281. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.102.018457>

Сведения об авторах

✉ **Шуплецова Ольга Наумовна**, доктор биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4679-0717>, e-mail: olga.shuplecova@mail.ru

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

Шевченко Сергей Николаевич, доктор с.-х. наук, академик РАН, заведующий отделом селекции, Самарский научно-исследовательский институт сельского хозяйства имени Н. М. Тулайкова – филиал ФГБУН Самарского федерального исследовательского центра Российской академии наук, ул. Карла Маркса, 41, пгт. Безенчук, Самарская область, Российская Федерация, 446254, e-mail: samniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7605-9864>

Information about the authors

✉ **Olga N. Shupletsova**, DSc in Biological Science, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Biotechnological Methods of Agricultural Plant Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North -East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4679-0717>, e-mail: olga.shuplecova@mail.ru

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

Sergey N. Shevchenko, DSc in Agriculture, academician of the RAS, Head of the Breeding Department, Samara Scientific Research Agriculture Institute named after N. M. Tulaykov – Branch of the Samara Federal Research Scientific Center of Russian Academy of Sciences, 41, Karl Marx St., village Bezenchuk, Samara region, Russian Federation, 446254, e-mail: samniish@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7605-9864>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Оценка сортов льна-долгунца по продуктивности и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России

© 2025. А. Д. Степин✉, М. Н. Рысев, Т. А. Рысева, С. В. Уткина, Н. В. Романова
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,
Российская Федерация

Цель исследований – изучить различные по эколого-географическому происхождению генотипы льна-долгунца по продуктивности льноволокна, показателям адаптивности и экологической устойчивости в условиях Псковской области (Северо-Западный регион РФ). Оценку 20 сортов льна-долгунца из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова проводили в 2021–2023 гг. в сравнении со стандартным сортом Добрыня. Наиболее благоприятные гидротермические условия вегетационного периода для роста и развития льна-долгунца сложились в 2022 г., когда гидротермический коэффициент (ГТК) составил 1,43, а индекс условий среды (I_j) – +28,1; неблагоприятные – в 2021 г. (ГТК = 2,07; I_j = -37,8). Среднесортная урожайность льноволокна в эти годы составила 202,8 и 136,9 г/м² соответственно. Средняя урожайность по сортам за 2021–2023 гг. варьировала в пределах 117,0...220,7 г/м². Из испытываемых 20 сортов 10 превысили среднесортную урожайность (174,7 г/м²), 7 – стандартный сорт Добрыня (190,2 г/м²). Статистически значимое превышение урожайности над стандартом отмечали у сортов из Франции (Bolchoi – 220,7 г/м², Olga – 214,5 г/м²) и Беларуси (Веста – 213,3 г/м²). Сорта заметно различались по степени адаптивности и экологической устойчивости, о чем свидетельствуют существенные колебания значений показателей: коэффициентов вариации (CV) – 9,0...38,8 %; адаптивности (KA) – 67,0...126,3 %; пластичности (b_i) – 0,41...1,82; стабильности (Gd^2) – 2,5...2385,5; размаха урожайности (d) – 14,3...62,3 %; стрессоустойчивости ($Y_2 - Y_1$) – -24,3...-108,2 г/м²; генетической гибкости ($(Y_1 + Y_2)/2$) – 111,8...223,1 г/м²; гомеостатичности (Hom) – 17,6...58,0; общей адаптивной способности (ОАС) – -51,5...+46,0 г/м². На основании комплексной оценки урожайности льноволокна и вышеперечисленных показателей, с учетом принципа ранжирования, выделены высокопродуктивные сорта, наиболее приспособленные к условиям Северо-Запада России: Добрыня, Тонус (Россия); Веста, Грант (Беларусь); Каменяр (Украина); Bolchoi, Olga (Франция), которые будут использованы в селекции на адаптивность.

Ключевые слова: сортообразцы, условия среды, урожайность, изменчивость, генетическая гибкость, пластичность, гомеостатичность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема № FGSS-2024-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Оценка сортов льна-долгунца по продуктивности и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1015–1025. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1015-1025>

Поступила: 25.03.2025

Принята к публикации: 22.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Assessment of flax cultivars by productivity and adaptability in the conditions of the North-Western region of Russia

© 2025. Alexander D. Stepin✉, Michail N. Rysev, Tamara A. Ryseva, Svetlana V. Utkina, Nadezhda V. Romanova
Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The purpose of the research is to study different in ecological and geographical origin fiber flax genotypes in terms of flax fiber productivity, adaptability and environmental sustainability in the Pskov region (North-Western region of the Russian Federation). The evaluation of 20 cultivars of flax from the collection of the All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov was carried out in 2021–2023 in comparison with the standard 'Dobrynya' cultivar. The most favorable hydrothermal conditions of the growing season for the growth and development of flax were formed in 2022, when the hydrothermal coefficient (HTC) was 1.43, and the environmental conditions index (I_j) was +28.1; unfavorable – in 2021 (HTC = 2.07; I_j = -37.8). The average annual yield of flax fiber in these years was 202.8 and 136.9 g/m², respectively. The average yield of the cultivars for 2021–2023 ranged from 117.0...220.7 g/m². Of the 20 cultivars tested, 10 exceeded the average grade yield (174.7 g/m²), 7 exceeded the standard 'Dobrynya' cultivar (190.2 g/m²). A statistically significant excess of yield over the standard was noted in cultivars from France ('Bolchoi' – 220.7 g/m², 'Olga' – 214.5 g/m²) and Belarus ('Vesta' – 213.3 g/m²). The cultivars differed considerably in the degree of adaptability and environmental sustainability, as evidenced by significant fluctuations in the values of the indicators: coefficients of variation (CV) – 9.0...38.8 %, adaptivity (KA) – 67.0...126.3 %, plasticity (b_i) – 0.41...1.82, stability (Gd^2) – 2.5...2385.5; yield range (d) – 14.3...62.3 %; stress resistance ($Y_2 - Y_1$) – -24.3...-108.2 g/m², genetic flexibility ($(Y_1 + Y_2)/2$) – 111.8...223.1 g/m², homeostaticity (Hom) – 17.6...58.0, general adaptive capacity (GAC) – -51.5...+46.0 g/m². Based on a comprehensive assessment of flax fiber yield and the above-mentioned

indicators, taking into account the ranking principle, highly productive cultivars have been identified that are most adapted to the conditions of the North-West of Russia: 'Dobrynya', 'Tonus' (Russia); 'Vesta', 'Grant' (Belarus); 'Kamenyar' (Ukraine); 'Bolchoi', 'Olga' (France), which will be used in breeding for adaptivity.

Keywords: samples, environmental conditions, yield, variability, genetic flexibility, plasticity, homeostaticity

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 Bast Fiber Crops (topic No. FGSS-2024-0001). 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: Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Assessment of flax cultivars by productivity and adaptability in the conditions of the North-Western region of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(5):1015–1025. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1015-1025>

Received: 25.03.2025

Accepted for publication: 22.09.2025

Published online: 31.10.2025

Лен-долгунец выделяется среди технических культур своей многофункциональностью. Переработка этой культуры позволяет получать волокно, семена и костру. Его используют в текстильной, пищевой, фармацевтической, строительной, химической индустрии, а также в оборонном секторе и других отраслях. Внутренний рынок ежегодно нуждается в более чем 100 тысячах тонн волокна. Масло семян льна богато альфа-линоленовой кислотой (омега 3) и обладает целебными свойствами, широко употребляется для изготовления олифы, так как относится к быстровысыхающим маслам [1, 2].

Современные селекционные программы нацелены на создание сортов льна-долгунца с высоким качеством продукции и устойчивой реализацией генетического потенциала. Влияние неблагоприятных стрессовых факторов среды на продуктивность современных сортов остается значительной [3].

На растения воздействуют различные экстремальные условия среды, влияющие на темпы роста и развития, величину урожайности льнопродукции [4].

К современному сорту льна-долгунца предъявляются жесткие требования [5]. Он должен обладать целым комплексом ценных признаков, большая часть которых наследуется полигенно; многие из них складываются из нескольких показателей, находящихся в прямой или обратной связи друг с другом [6, 7, 8].

При создании исходного материала необходимо интенсивнее использовать образцы из мировой коллекции ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (ВИР), которая охватывает практически всё генетическое разнообразие этой культуры, что позволяет создавать сорта, отвечающие различным требованиям селекции и производства [9]. С целью ускорения и повышения результативности селекционного процесса

необходимо предварительное изучение коллекционных образцов в конкретных природно-климатических условиях. Наиболее приспособленные к таким условиям генисточки используют в скрещиваниях [10]. Для этого в Псковском НИИСХ (обособленном подразделении ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур») регулярно (один раз в 5 лет) формируется новый питомник экологического испытания коллекции льна-долгунца.

Для оценки потенциала сортов по урожайности применяются разные методы, отличающиеся сложностью и точностью [11, 12, 13, 14]. Рекомендуются комплексный подход с их ранжированием [15, 16]. При равной урожайности предпочтение отдается адаптивным генотипам. Исследования адаптивного потенциала сортов активно ведутся на разных культурах, однако на льне-долгунце их недостаточно [7, 8, 10]. На сегодняшний день выявлено крайне ограниченное количество генотипов льна, обладающих устойчивостью к неблагоприятным факторам среды, что сдерживает проведение целенаправленной селекции в этом направлении и подчеркивает актуальность данной работы [17].

Цель исследований – изучить различные по эколого-географическому происхождению генотипы льна-долгунца из мировой коллекции ВИР по продуктивности льноволокна и адаптивности в условиях Псковской области (Северо-Западный регион РФ).

Научная новизна – впервые выявлены продуктивные генотипы льна-долгунца, устойчивые к стрессам Северо-Запада России, пригодные для создания адаптивных сортов.

Материал и методы. Исследования проводили в 2021–2023 гг. на опытном поле Псковского НИИСХ с использованием 20 сортов льна-долгунца из коллекции ВИР, включая образцы из России, Беларуси, Украины и Франции (табл. 1).

Таблица 1 – Образцы коллекции льна-долгунца и их происхождение (2021–2023 гг.) /
Table 1 – Samples of the flax collection and their origin (2021–2023)

<i>№ по каталогу ВИР /</i> <i>Catalog number of VIR</i>	<i>Название сорта (образца) /</i> <i>Name of the cultivar(sample)</i>	<i>Происхождение /</i> <i>Origin</i>
к-7244	Факел / 'Fakel'	Россия / Russia
к-8002	Томский17 / 'Tomsk17'	Россия / Russia
к-8003	Томский18 / 'Tomsk18'	Россия / Russia
к-8172	Импульс / 'Impulse'	Россия / Russia
к-8413	Борец / 'Borets'	Беларусь / Belarus
к-8414	Заказ / 'Zakaz'	Беларусь / Belarus
к-8415	Ритм / 'Rhythm'	Беларусь / Belarus
к-8505	Гладиатор / 'Gladiator'	Украина / Ukraine
к-8556	Каменяр / 'Kamenyar'	Украина / Ukraine
к-8671	Весничка / 'Vesnichka'	Россия / Russia
к-8694	Вручий / 'Vruchiy'	Украина / Ukraine
к-8695	Глазур / 'Glazur'	Украина / Ukraine
к-8775	Тонус / 'Tonus'	Россия / Russia
к-8877	Снежок желтосемянный / 'Snezhok zheltosemyanniy'	Россия / Russia
к-8892	Веста / 'Vesta'	Беларусь / Belarus
к-8893	Левит1 / 'Levit1'	Беларусь / Belarus
к-8894	Ласка / 'Laska'	Беларусь / Belarus
к-8895	Грант / 'Grant'	Беларусь / Belarus
к-8962	'Bolchoi'	Франция / France
к-8963	'Olga'	Франция / France
Стандарт / Standard	Добрыня / 'Dobrynya'	Россия / Russia

В качестве стандарта по всем признакам, определяющим продуктивность, был выбран районированный сорт Добрыня, выведенный в Псковском НИИСХ.

Почва опытного участка дерново-слабо-подзолистая легкосуглинистая на карбонатной морене со следующими агрохимическими показателями: $pH_{\text{сол.}}$ – 5,0–5,2; содержание подвижного фосфора (P_2O_5) – 279–366 мг/кг почвы и калия (K_2O) 112–175 мг/кг почвы (по методу Кирсанова); гумуса – 2,3–2,6 % (по методу Тюрина). Предшественник – многолетние травы. Агротехника – общепринятая¹. Удобрения вносили в дозе $N_{24}P_{24}K_{24}$. Исследования проводили по общепринятой методике².

Посев рядовым способом, учет урожая – сплошной, поделочный. Урожайность льноволокна рассчитывали на основе урожайности

льносоломы и содержания волокна. Выделение льноволокна из стеблей осуществляли методом тепловой мочки, его качество оценивали в соответствии со стандартной методикой³.

Статистическую обработку данных проводили методом дисперсионного анализа⁴, в ходе которой урожайность оценили по следующим показателям: коэффициент вариации (CV, %); доля влияния сорта и абиотических факторов на формирование урожайности льноволокна; наименьшая существенная разность (HC_{P05}).

Индекс условий среды (I_j), коэффициент регрессии (b_i) и стабильность сорта в различных условиях (Gd^2) определяли по методике С. Эберхарт, У. Рассел (S. A. Eberhart, W. A. Russell) [12]. Показатели стрессоустойчивости ($Y_{\min} - Y_{\max}$) и генетической гибкости ($(Y_{\max} + Y_{\min})/2$) рассчитывали по уравнениям А. Розиль,

¹Технология и организация производства высококачественной продукции льна-долгунца. М.: ФГБНУ «Росинформагротех», 2004. 148 с.

²Методические указания ВИР по изучению коллекции льна-долгунца. Л.: ВИР, 1988. 29 с.; Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца: методические указания. Тверь: Тверской ГУ, 2014. 140 с.

³Арно А. А., Гращенко М. Г., Шиков С. А. Методики технологической оценки продукции льна и конопли. М., 1961. 184 с.

⁴Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

Дж. Хэмблин (А. А. Rosielle и J. Ham-blin) [13] в обработке А. А. Гончаренко [14]. Гомеостатичность (Hom) и селекционную ценность (Sc) определяли по методике В. В. Хангильдина [15], коэффициент адаптивности (КА) – по методу Л. А. Животкова [16], общую адаптивную

способность (ОАС) – по методике А. В. Кильчевского и Л. В. Хотылевой [18].

Метеорологические условия вегетационных периодов 2021–2023 гг. существенно различались по температурному режиму и количеству выпавших осадков (табл. 2).

Таблица 2 – Метеорологические условия в годы проведения исследований (2021–2023 гг.) /
Table 2 – Meteorological conditions during the years of the research (2021–2023)

<i>Год / Year</i>	<i>Месяц / Month</i>				<i>В среднем (в сумме) / On average (in total)</i>	
	<i>май / may</i>	<i>июнь / june</i>	<i>июль / july</i>	<i>август / august</i>	<i>май – август / may – august</i>	<i>июнь – июль / june – july</i>
Среднесуточные температуры воздуха, °C / Average daily air temperatures, °C						
2021	11,6	20,2	22,1	16,0	17,5	21,1
2022	10,7	17,9	18,3	19,9	16,7	18,1
2023	11,8	17,3	17,0	19,2	16,3	17,1
Среднее / Average	12,2	15,8	18,3	16,5	15,7	17,1
Количество осадков, мм / Average monthly precipitation, mm						
2021	141,7	41,1	43,9	149,7	376,4	85,0
2022	36,2	103,0	55,9	103,0	298,1	158,9
2023	10,4	48,9	66,7	62,2	188,2	115,6
Среднее / Average	55,0	92,0	76,0	94,0	317,0	168,0
Гидротермический коэффициент Селянинова / Hydrothermal coefficient of Selyaninov						
2021	3,94	0,68	0,64	3,02	2,07	0,66
2022	1,13	1,92	1,02	1,67	1,43	1,45
2023	0,28	0,94	1,26	1,05	0,94	1,11
Среднее / Average	1,45	1,94	1,34	1,84	1,64	1,64

Анализ гидротермического коэффициента Селянинова⁵, как интегрального показателя влагообеспеченности, выявил значительные колебания погодных условий для льна-долгунца в исследуемые годы. Так, 2022 г. ознаменовался оптимальным сочетанием тепла и влаги (ГТК – 1,3...1,6). Напротив, избыточно влажным (ГТК>1,9) выдался 2021 г., в 2023 г. посевы подверглись легкой засухе (ГТК<1). Влагообеспеченность льна-долгунца демонстрировала изменчивость на протяжении различных фаз его развития. В период активного роста (июнь – июль) особенно остро ощущалась нехватка влаги в 2021 г. (ГТК – 0,68 и 0,64 соответственно). Этот знойный период не мог не сказаться на росте, развитии и, как следствие, на формировании урожайности льнопродукции.

Результаты и их обсуждение. Полученные в результате двухфакторного дисперсионного анализа данные показали, что влия-

ние генотипа и абиотических факторов на урожайность льноволокна в исследуемые годы было практически равнозначным. Весомый вклад в формирование урожайности внесли факторы «год» – 45,6 % и «сорт» – 44 %, их взаимодействие – 5,1 %.

Для объективной оценки влияния на изучаемые сорта условий произрастания использовали индекс условий среды (I_j), представляющий собой разницу между среднесортовой урожайностью в конкретном году и среднесортовой урожайностью за весь период наблюдений. Наиболее благоприятные условия для формирования урожайности льноволокна сложились в 2022 г. ($I_j = +28,1$), менее благоприятные в 2023 г. ($I_j = +9,8$). Самые суровые испытания выпали на долю посевов в 2021 г., о чем свидетельствует отрицательное значение индекса среды ($I_j = -37,8$).

⁵Агроклиматические ресурсы Псковской области. Л.: Гидрометеиздат, 1972. 112 с.

Минимальная среднесортная урожайность льноволокна в опыте, составившая 136,9 г/м², получена в 2021 г. при неблагоприятных условиях произрастания. В 2023 г. этот показатель несколько возрос, достигнув 184,5 г/м², наивысшая урожайность получена в 2022 г. – 202,8 г/м².

В течение трех лет исследований (2021–2023 гг.) урожайность волокна сортов льна-долгунца изменялась в широком диапазоне – от минимальных 61,2 г/м² (сорт Снежок желтосемянный, 2021 г.) до максимальных значений 267,3 г/м² (сорт Bolchoi, 2023 г.). Средние показатели урожайности для этих сортов составили 117,0 и 220,7 г/м² соответственно (табл. 3).

Среди испытываемых сортов 10 превзошли среднесортную урожайность, в их числе Bolchoi и Olga (Франция), Веста, Заказ и Грант (Беларусь), Тонус (Россия), Каменяр, Глазур и Вручий (Украина). Особого внимания заслуживают сорта Bolchoi (220,7 г/м²), Olga (214,5 г/м²), Веста (213,3 г/м²), Тонус (201,8 г/м²), Каменяр (201,8 г/м²), Заказ (201,8 г/м²), урожайность которых превысила средний показатель по опыту на 10,6...20,7 %. При этом сорта Bolchoi, Olga и Веста статистически значимо превзошли по урожайности льноволокна стандарт – сорт Добрыня (190,2 г/м²) на 16,0; 12,8; 12,1 % соответственно.

Таблица 3 – Оценка продуктивного и адаптивного потенциалов сортов льна-долгунца по урожайности льноволокна (2021–2023 гг.) /

Table 3 – Assessment of the productive and adaptive potential of flax cultivars by flax fiber yield (2021–2023)

Сорт / Cultivar	Урожайность льноволокна, г/м ² / Flax fiber yield, g/m ²				CV, %	КА, %	Реализация потенциала урожайности, % / Realizing the potential of the yield, %
	2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее / average			
Факел / 'Fakel'	103,0	175,7	141,5	140,1	26,0	80,2	79,7
Томский 17 / 'Tomsk 17'	107,9	189,6	147,4	148,3	27,5	84,9	78,2
Томский 18 / 'Tomsk 18'	144,5	168,8	170,3	161,5	9,0	92,4	95,7
Импульс / 'Impulse'	141,2	195,8	172,3	169,8	16,1	97,2	86,7
Борец / 'Borets'	142,4	191,0	172,6	168,7	14,5	96,6	88,3
Заказ / 'Zakaz'	136,5	236,8*	206,7	193,3	26,6	110,6	81,6
Ритм / 'Rhythm'	126,9	213,5	165,7	168,7	25,7	96,6	79,0
Гладиатор / 'Gladiator'	102,6	187,1	181,5	157,1	38,8	89,9	84,0
Каменяр / 'Kamenyar'	146,4	228,9*	213,9*	196,4	22,4	112,4	85,8
Весничка / 'Vesnichka'	80,0	156,7	132,8	123,2	31,8	70,5	78,6
Вручий / 'Vruchiy'	152,7	203,5	175,5	177,2	14,4	101,4	87,1
Глазур / 'Glazur'	107,1	215,3	227,6*	183,3	36,1	104,9	85,1
Тонус / 'Tonus'	182,0*	238,1*	185,4	201,8	15,6	115,5	84,8
Снежок желтосемянный / 'Snezhok zheltosemyanniy'	61,2	162,3	127,7	117,0	43,9	67,0	72,1
Веста / 'Vesta'	186,2*	243,6*	210,0	213,3*	13,5	122,1	87,6
Левит 1 / 'Levit 1'	142,7	195,0	155,0	164,5	16,9	94,2	84,0
Ласка / 'Laska'	148,6	195,0	176,2	173,3	13,5	99,2	88,9
Грант / 'Grant'	157,1	205,8	197,7	186,9	14,0	107,0	90,8
'Bolchoi'	178,9*	215,8	267,3*	220,7*	20,0	126,3	82,6
'Olga'	162,5	229,7*	251,2*	214,5*	21,6	122,8	85,4
Добрыня, ст. / 'Dobrynya', st.	164,3	210,4	195,8	190,2	12,4	108,9	90,4
Среднее / Average	136,9	202,8	184,5	174,7	-	100	86,1
Индекс условий среды / Index of environmental conditions	-37,8	+28,1	+9,8	-	-	-	-
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	14,2	18,1	17,9	20,5	-	-	-

Примечания: КА – коэффициент адаптивности; * достоверные различия относительно стандарта при 95%-ном уровне значимости /

Notes: KA is the coefficient of adaptability; *significantly at 95% significance level

Анализ реализации потенциала урожайности испытываемых сортов льна-долгунца показал, что ни один из них не смог в полной мере раскрыть свои возможности. В среднем по эксперименту реализация потенциала составила 86,1 %, варьируя от 72,1 % (сорт Снежок желтосемянный) до 95,7 % (сорт Томский 18). Наиболее близко к полному раскрытию потенциала подошли сорта Томский 18 (95,7 %), Грант (90,8 %) и стандарт Добрыня (90,4 %). Несколько уступили им сорта Ласка (88,9 %), Импульс (86,7 %), Борец (88,3 %), Вручий (87,1 %), Olga (85,4 %), Глазур (85,1 %). У остальных сортов реализация потенциала не превышала 85 %, наименьшие показатели отмечены у сортов Снежок желтосемянный (72,1 %), Томский 17 (78,2 %) и Весничка (78,6 %).

Испытуемые сорта заметно различались по степени изменчивости урожайности льноволокна за годы исследований, которую определяли на основе коэффициента вариации (CV) данного признака. Согласно методике⁶, степень изменчивости считается незначительной при $CV < 10$ %, средней – $CV = 10–20$ %, значительной – $CV > 20$ %. За годы исследований этот показатель у сортов находился в пределах 9,0...43,9 %. Только один сорт Томский 18 отличался слабой степенью изменчивости (9,0 %). Сорта Импульс, Борец, Вручий, Тонус, Веста, Левит-1, Ласка, Грант, Bolchoi, Добрыня характеризовались средней степенью изменчивости (12,4...20,0 %), остальные 10 сортов – сильной (21,6...43,9 %). Наибольшая вариабельность урожайности льноволокна отмечена у сортов Снежок желтосемянный, Гладиатор и Глазур (36,1...43,9 %), что одновременно свидетельствует о слабой их адаптивности.

В неблагоприятных погодных условиях, когда потенциальная продуктивность сортов проявляется слабо, особую ценность приобретает их адаптивность. Для оценки сортов по этому критерию использовали коэффициент адаптивности (КА) по методу Л. А. Животкова [16], представляющий собой отношение урожайности исследуемых сортов к средней урожайности по всем сортам, выраженное в процентах. Наиболее высокой адаптивностью, согласно данному подходу, обладали сорта Bolchoi, Olga, Веста, Тонус, Каменяр, Заказ (КА – 122,8...110,6 %), наименьшей – Снежок желтосемянный, Весничка и Факел (КА – 67,0...80,8 %).

⁶Доспехов Б. А. Указ. соч.

Адаптивность и экологическая пластичность сортов основывается на разнице между минимальной и максимальной урожайностью ($Y_2 - Y_1$). Этот параметр имеет отрицательное значение, и чем меньше его абсолютная величина, тем выше устойчивость сорта к неблагоприятным факторам среды [19]. Относительно высокой стрессоустойчивостью отличились сорта Томский 18 (-24,3), стандарт Добрыня (-46,1), Ласка (-46,4), Грант (-48,7) и Борец (-48,6), слабой – Глазур (-108,2), Снежок желтосемянный (-101,1) и Заказ (-100,3). Остальные сорта занимали промежуточное положение по этому показателю.

Характеристика генетической гибкости и компенсаторной способности определяется средней урожайностью сорта в контрастных (благоприятных и неблагоприятных) условиях ($Y_1 + Y_2/2$). Чем выше этот показатель, тем лучше соответствие между генотипом сорта и факторами среды [19]. Наиболее высокая средняя урожайность ($г/м^2$) в благоприятных и неблагоприятных условиях была получена у сортов Bolchoi (223,1), Тонус (210,1), Olga (206,9), Каменяр (187,7), стандарт Добрыня (187,3), Заказ (186,7) и Грант (181,5), что свидетельствует о высокой компенсаторской способности этих сортов (табл. 4). В контрастных условиях они смогли сформировать урожайность выше среднего по опыту ($174,7 г/м^2$) в отличие от других сортов.

Анализ разницы между максимальной и минимальной урожайностью сорта по отношению к максимальной, выраженный как размах урожайности (d) в процентах, проводили согласно методике В. А. Зыкина [19]. Чем ниже значение показателя d, тем более стабильной является урожайность сорта в данной среде. Согласно этому показателю, сорта Томский 18 (14,3 %), Добрыня (21,9 %), Грант (23,7 %), Ласка (23,8 %), Веста (23,6 %), Тонус (23,6 %) и Борец (25,4 %) отмечены более стабильными, сорта Снежок желтосемянный (62,3 %), Глазур (50,3 %), Весничка (48,9 %) и Гладиатор (45,2 %) проявили наименьшую стабильность. Остальные сорта заняли промежуточное положение.

Коэффициент линейной регрессии урожайности сортов b_i , отражающий их реакцию на изменение условий выращивания, был рассчитан согласно методике [12]. На основании отзывчивости на изменение условий среды все сорта были разделены на 3 группы.

Таблица 4 – Параметры адаптивности и экологической устойчивости сортов льна-долгунца в условиях Северо-Западного региона России (в среднем за 2021–2023 гг.) /

Table 4 – Parameters of adaptability and ecological stability of flax cultivars in the conditions of the North-Western region of Russia (average for 2021-2023)

Сорт / Cultivar	Параметры адаптивности / Adaptability parameters							
	b_i	Gd^2	d , %	Hom	$Y2 - Y1$	$Y1 + Y2/2$	Sc	OAC / GAC
Факел / 'Fakel'	1,05	123,2	41,4	27,7	-72,7	139,4	82,1	-34,6
Томский 17 / 'Tomsk 17'	1,16	270,4	43,1	28,2	-81,7	148,8	84,3	-26,4
Томский 18 / 'Tomsk 18'	0,41	42,9	14,3	54,4	-24,3	156,7	138,2	-13,2
Импульс / 'Impulse'	0,8	43,6	27,6	42,2	-54,6	168,5	122,4	-4,9
Борец / 'Borets'	0,72	14,2	25,4	44,0	-48,6	166,7	125,8	-6,0
Заказ / 'Zakaz'	1,52	3,4	42,4	37,5	-100,3	186,7	111,4	18,6
Ритм / 'Rhythm'	1,22	355,9	40,6	33,3	-86,6	170,2	100,3	-6,0
Гладиатор / 'Gladiator'	1,36	200,0	45,2	28,7	-84,5	144,9	54,8	-17,6
Каменяр / 'Kamenyar'	1,29	39,1	36,0	41,5	-82,5	187,7	125,6	21,7
Весничка / 'Vesnichka'	1,16	4,4	48,9	21,8	-76,7	118,4	62,9	-51,5
Вручий / 'Vruchiy'	0,72	121,9	25,0	48,1	-50,8	178,1	133	2,5
Глазур / 'Glazur'	1,82	1121,7	50,3	30,5	-108,2	161,2	91,2	8,6
Тонус / 'Tonus'	0,70	863,2	23,6	51,1	-56,1	210,1	154,2	27,1
Снежок желтосемянный / 'Snezhok zheltosemyanniy'	1,51	36,1	62,3	17,6	-101,1	111,8	44,0	-57,7
Веста / 'Vesta'	0,81	193,9	23,6	58,0	-57,4	214,9	163,0	38,6
Левит 1 / 'Levit 1'	0,70	427,7	27,3	41,0	-53,2	169,3	119,8	-10,2
Ласка / 'Laska'	0,69	22,4	23,8	47,2	-46,4	171,8	132,1	-1,4
Грант / 'Grant'	0,77	18,7	23,7	50,0	-48,7	181,5	142,7	12,2
'Bolchoi'	0,83	2385,5	33,1	49,3	-88,4	223,1	183,3	46,0
'Olga'	1,20	1005,2	35,3	46,2	-88,7	206,9	151,7	39,8
Добрыня, ст./ 'Dobrynya', st.	0,70	2,5	21,9	54,0	-46,1	187,3	148,5	15,5

Примечания: b_i – коэффициент линейной регрессии, Gd^2 – коэффициент стабильности; d – размах урожайности; Hom – гомеостатичность, $Y2 - Y1$ – стрессоустойчивость, $Y1 + Y2/2$ – генетическая гибкость, Sc – селекционная ценность, OAC – общая адаптивная способность /

Notes: b_i is the coefficient of linear regression, Gd^2 is the coefficient of stability; d – yield range; Hom – homeostaticity, $Y2 - Y1$ – stress resistance, $Y1 + Y2/2$ – genetic flexibility, Sc – breeding value, GAC – general adaptive capacity

Первая группа – сорта Глазур, Заказ, Снежок желтосемянный, Гладиатор, Каменяр, Olga, Томский 17, Весничка, у которых значение коэффициента $b_i > 1$. Эти сорта проявляют высокую чувствительность к улучшению условий выращивания и могут быть охарактеризованы как интенсивные.

Вторая группа – только сорт Факел, у которого коэффициент регрессии близок к 1, что свидетельствует о полном соответствии его урожайности изменению условий выращивания.

В третью группу входит большинство сортов, у которых коэффициент регрессии $b_i < 1$, что указывает на их низкую чувствительность к улучшению условий выращивания. К ним относятся сорта Томский 18, Импульс, Борец, Вручий, Тонус, Веста, Левит 1, Ласка, Грант,

Bolchoi, Добрыня. Такая реакция характерна для сортов экстенсивного и полунтенсивного типов, которые наилучшим образом проявляют себя в условиях экстенсивного использования, обеспечивая максимальную урожайность (с учетом особенностей сорта) при минимальных затратах.

При изучении данного набора сортов выявлены значительные различия в показателях стабильности урожайности (Gd^2). Чем ближе квадратическое отклонение фактического урожая от теоретического (приближается к нулю), тем более стабилен сорт. Среди генотипов, участвующих в опыте, по урожайности льноволокна особенно стабильными выделены сорта: Добрыня (2,5), Заказ (3,4), Весничка (4,4), Борец (14,2), Грант (18,7). Наименьшую стабильность

продемонстрировали: Bolchoi (2385,5), Глазур (1121,7) и Olga (1005,2). Остальные сорта имели промежуточные значения.

Одним из важных показателей, отражающих устойчивость растений к неблагоприятным факторам окружающей среды, является гомеостатичность (Hom) [15]. По результатам исследований можно выделить сорта, обладающие высокой стабильностью при изменении условий выращивания. Связь гомеостатичности (Hom) с коэффициентом вариации (CV) позволяет оценить устойчивость сортов к изменениям в условиях среды. Наибольшую устойчивость показали сорта Веста (CV = 13,5 %; Hom = 58,0), Томский 18 (9,0 %; 54,4), Добрыня (12,4 %; 54,0), Тонус (15,6 %; 51,1), Грант (14,0 %; 50,0) и Bolchoi (20,0 %; 49,3).

Эти генотипы также отличаются наибольшей селекционной ценностью (Sc – 13,4...14,1), что свидетельствует об их высокой стабильности. Следует отметить, что оценка сортов по этим показателям не полностью совпадает с оценкой стабильности (Gd^2) по методу С. Эберхарт, У. Рассел (S. A. Eberhart, W. A. Russell) [12].

Сорта Снежок желтосемянный (CV = 43,9%; Hom = 17,6), Весничка (31,8 %; 21,8), Факел (26,0 %; 27,7), Томский 17 (27,5 %; 28,2), Гладиатор (38,8 %; 28,7) проявили большую вариабельность и низкую гомеостатичность, что указывает на их нестабильность и низкую адаптивность в данном регионе.

Адаптивная способность сортов льна-долгунца является ключевым фактором, обеспечивающим высокие урожаи льноволокна в различных условиях окружающей среды. Наивысшие показатели общей адаптивной способности в нашем исследовании проявили сорта Bolchoi (46,0), Olga (39,8), Веста (38,6) и Тонус (27,1), наименьшие значения – сорта Снежок желтосемянный (-57,7), Весничка (-51,5), Факел (-34,6) и Томский 17 (-26,4).

Провели оценку генотипов льна-долгунца с учетом критериев адаптивности, экологической устойчивости и селекционной ценности, используя разнообразные методы исследования.

Полученные данные показали, что связи между различными параметрами и их влияние на урожайность волокна могут быть разнообразны. Для более объективной оценки и достоверных результатов использовали метод ранжирования по всем параметрам, а окончательную оценку проводили на основе суммы рангов. Сумма рангов указывает на уровень адаптивности сорта, где меньшая сумма соответствует

более высокой адаптивности. Это позволило выявить генотипы льна-долгунца, наиболее подходящие для условий Северо-Западного региона России.

При ранжировании параметров адаптивности сортов льна по урожайности льняного волокна, согласно результатам оценки, наименьшую сумму рангов получили Добрыня (45), Веста (50), Грант (60), Тонус (67), Ласка (71), Каменяр (73), Bolchoi (74), Вручий (75), Томский 18 (77), Olga (80).

Большинство из них, за исключением сортов Olga и Каменяр, имело низкую пластичность (b_i – 0,41...0,83), что свидетельствует об их слабой реакции на улучшение условий среды. Они заметно различались по стабильности урожайности льноволокна (Gd^2 – 2,5...2385,5), обладали относительно высокой гомеостатичностью (Hom – 41,5...58,0) и относительно низкой изменчивостью (CV – 9,0...20,0 %), характеризовались относительно высокими показателями по стрессоустойчивости и низкими – по размаху урожайности. Урожайность льноволокна данных образцов была на высоком уровне (177,2...220,7 г/м²), значительно превышая среднесортную (174,7 г/м²). Их можно отнести к сортам полуинтенсивного типа, которые хорошо адаптированы к условиям региона и способны стабильно обеспечивать довольно высокую урожайность льноволокна при умеренном уровне агротехники. Среди указанных образцов особенно следует выделить по урожайности льноволокна сорта Bolchoi, Веста и Тонус (201,8...220,7 г/м²), которые не только превышали среднесортную урожайность, но и достоверно превосходили стандарт Добрыня (190,2 г/м²).

Сорта Каменяр и Olga характеризовались высокой пластичностью по урожайности льноволокна (b_i – 1,9 и 1,2 соответственно); низкими значениями показателей стабильности (Gd^2 – 1005,2 и 39,1), гомеостатичности (Hom – 41,5 и 46,2) и стрессоустойчивости ($Y_2 - Y_1$ – 88,7 и 82,5); высокой вариацией (CV – 21,6 и 22,4) и размахом урожайности (d – 36,0 и 35,0 %). Их следует отнести к сортам интенсивного типа, которые хорошо отзываются на улучшение условий выращивания и требуют повышенного уровня агрофона, при котором способны реализовать свой высокий потенциал по урожайности льноволокна. За годы исследований эти сорта сформировали среднюю урожайность льноволокна (214,5–196,4 г/м²), что на 39,8–21,7 г/м² выше среднесортной. При этом сорт Olga по урожайности льноволокна достоверно превышал и стандартный сорт Добрыня на 24,3 г/м².

Все указанные образцы представляют несомненный интерес для дальнейшей селекционной работы с целью создания новых генотипов льна-долгунца, сочетающих высокую урожайность льноволокна с максимальной возможной адаптацией к условиям Северо-Западного региона России и предназначенных для хозяйств с различной степенью интенсификации земледелия.

Заключение. Испытание в условиях Северо-Западного региона России 20 сортов льна-долгунца отечественной и зарубежной селекции показало, что в формировании урожайности льноволокна за годы исследований на долю фактора «условия года» приходилось 45,6 %, фактора «сорт» – 44,0 % и на их взаимодействие – 5,1 %.

Комплексная оценка изучаемых сортов по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности (стрессоустойчивости, пластичности, стабильности, гомеостатичности, изменчивости) с использованием разных методик и принципа ранжирования позволила получить достоверные данные и выделить сортобразцы, обладающие высокой потенциальной продуктивностью и наибольшей адаптивностью в условиях Северо-Западного региона. К ним относятся сорта Добрыня (45), Веста (50), Грант (60), Тонус (67), Ласка (71), Каменяр (73), Bolchoi (74), Вручий (75), Томский 18 (77), Olga (80), набравшие наименьшие суммы баллов, которые целесообразно использовать в селекции льна-долгунца на адаптивность при выведении новых сортов с различной степенью интенсивности.

Список литературы

1. Рожмина Т. А. Национальная коллекция русского льна как источник устойчивости к неблагоприятным агроклиматическим факторам среды. Достижения науки и техники АПК. 2003;(11):17–18.
2. Рыбченко Т. И., Рожмина Т. А., Понажев В. П. Научные достижения – важнейший ресурс повышения эффективности регионального льноводства. Актуальные вопросы развития органического сельского хозяйства: сб. мат.-лов междунаро. научн.-практ. конф. Смоленск: Смоленская ГСХА, 2018. С. 150–157.
3. Жученко А. А. Адаптивный потенциал культурных растений (эколого-генетические аспекты). В 2-х томах. М.: ООО «Издательство Агрорус», 2001. 1489 с.
4. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Влияние агрометеорологических условий на урожайность и изменчивость основных хозяйственно-ценных признаков льна-долгунца сорта Восход. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2022;3(2):37–46. DOI: <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2022.11.78.005> EDN: MQPLQR
5. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):617–626. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus> EDN: WZJQEN
6. Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д., Сиптиц С. О., Романенко И. А., Барталев С. А., Савин Ю. И. Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. 203 с.
7. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А., Андреева И. А. Скрининг образцов генофонда льна по урожайности волокна и их адаптивности к условиям Центрального Нечерноземья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):688–696. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696> EDN: EFQTXZ
8. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J. Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania. Agronomy Research. 2009;7(1):59–72. URL: <https://agronomy.emu.ee/vol071/p7107.pdf>
9. Степин А. Д., Рысев М. Н., Кострова Г. А., Уткина С. В. Основные направления и результаты научных исследований Псковского НИУ по селекции льна-долгунца. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(2):14–20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097> EDN: TZRKQJ
10. Попова Г. А., Мичкина Г. А., Рогальская Н. Б., Трофимова В. М. Поиск генотипов льна-долгунца с ценными признаками из коллекции ВИР. Достижения науки и техники АПК. 2012;(5):3–5. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17734087> EDN: OYBYOR
11. Юсова О. А., Николаев П. Н. Эффективность применения различных методик для расчета пластичности и стабильности сортов на примере ярового ячменя. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(1):98–104. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-98-104> EDN: DIDYAY
12. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. Crop Science. 1966;6(1):36–40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>
13. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. Crop Science. 1981;21(6):943–946. DOI: <https://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>
14. Гончаренко А. А. Об адаптивности и экологической устойчивости сортов зерновых культур. Вестник РАСХН. 2005;(6):49–53.

15. Хангильдин В. В., Бирюков С. В. Проблема гомеостаза в генетико-селекционных исследованиях. Генетико-цитологические аспекты селекции сельскохозяйственных растений: сб. науч. тр. Одесса: ВСГИ, 1984. С. 67–76.

16. Животков 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):3–6.

17. Куземкин И. А., Рожмина Т. А. Скрининг образцов коллекции льна – долгунца по урожайности и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(5):666–674. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674> EDN: NPVLYV

18. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск: Тэхналогія, 1997. 372 с.

19. Зыкин В. А., Мешков В. В., Сапега В. А. Параметры экологической пластичности сельскохозяйственных растений, их расчет и анализ: методические рекомендации. Новосибирск: Сибирское отделение ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.

References

1. Rozhmina T. A. The National collection of Russian flax as a source of resistance to unfavorable agroclimatic factors of the environment. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2003;(11):17–18. (In Russ.).

2. Rybchenko T. I., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P. Scientific achievements are the most important resource for improving the efficiency of regional flax production. Current issues of organic agriculture development: Collection of Proceedings of international scientific and practical conference. Smolensk: *Smolenskaya GSKhA*, 2018. pp. 150–157.

3. Zhuchenko A. A. Adaptive potential of cultivated plants (ecological and genetic aspects). In 2 volumes. Moscow: ООО «Izdatel'stvo Agrorus», 2001. 1489 p.

4. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. The influence of the meteorological conditions on the yield and the markability of the main economically useful features of the flax variety Voskhod. *Tekhnicheskie kul'tury. Nauchnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = Technical crops Scientific agricultural journal. 2022;3(2):37–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.54016/SVITOK.2022.11.78.005>

5. Rybas' I. A. Breeding grain crops to increase adaptability. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2016;51(5):617–626. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>

6. Gordeev A. V., Kleshchenko A. D., Chernyakov B. A., Sirotenko O. D., Siptits S. O., Romanenko I. A., Bartalev S. A., Savin Yu. I. Bioclimatic potential of Russia: productivity and rational placement of crops in conditions of climate change. Moscow: *Tipografiya Rossel'khozakademii*, 2012. 203 p.

7. Traburova E. A., Rozhmina T. A., Andreeva I. A. Screening of flax gene pool samples by fiber yield and their adaptability to the conditions of the Central Non-Black Earth Region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(6):688–696. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696>

8. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J., Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) geneticresources in Lithuania. *Agronomy Research*. 2009;7(1):59–72. URL: <https://agronomy.emu.ee/vol071/p7107.pdf>

9. Stepin A. D., Rysev M. N., Kostrova G. A., Utkina S. V. The main directions and results of scientific research at the Pskov Research Institute for flax breeding. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2019;(2):14–20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41309097>

10. Popova G. A., Michkina G. A., Rogal'skaya N. B., Trofimova V. M. Search for genotypes of flax with valuable characteristics from the collection of Vavilov research institute of plant industry. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(5):3–5. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17734087>

11. Yusova O. A., Nikolaev P. N. Efficiency of application of various methods for plasticity and stability calculation of varieties on the example of spring barley. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2021;(1):98–104. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-98-104>

12. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*. 1966;6(1):36–40. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1966.0011183X000600010011x>

13. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*. 1981;21(6):943–946. DOI: <http://dx.doi.org/10.2135/cropsci1981.0011183X002100060033x>

14. Goncharenko A. A. On adaptivity and ecological resistance of grain crop varieties. *Vestnik RASKhN*. 2005;(6):49–53. (In Russ.).

15. Khangil'din V. V., Biryukov S. V. The problem of homeostasis in genetic breeding research. Genetic and cytological aspects of agricultural plant breeding: collection of scientific papers. Odessa: VSGI, 1984. pp. 67–76.

16. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. Methodology for identifying the potential productivity and adaptability of winter wheat cultivars and breeding forms according to the "Yield" indicator. *Seleksiya i semenovodstvo*. 1994;(2):3–6. (In Russ.).

17. Kuzemkin I. A., Rozhmina T. A. Screening of accessions from fiber flax collection by productivity and their adaptability to the conditions of the North-West region of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(5):666–674. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.666-674>

18. Kil'chevskiy A. V., Khotyleva L. V. Ecological plant breeding. Minsk: *Tekhnologiya*, 1997. 372 p.

19. Zykin V. A., Meshkov V. V., Sapega V. A. Parameters of ecological plasticity of agricultural plants, their calculation and analysis: methodological recommendations. Novosibirsk: *Sibirskoe otdelenie VASKhNIL*, 1984. 24 p.

Сведения об авторах

✉ **Степин Александр Дмитриевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, зам. директора обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Рысев Михаил Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9291-7593>

Рысева Тамара Андреевна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5420-8419>

Уткина Светлана Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7006-6713>

Романова Надежда Владимировна, научный сотрудник лаборатории селекционных технологий обособленного подразделения Псковский НИИСХ, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», ул. Мира, д. 1, дер. Родина, Псковского района, Псковской области, Российская Федерация, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4661-7810>

Information about the authors

✉ **Alexander D. Stepin**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Deputy Head of the separate division Pskov Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira st., v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, e-mail: otdellna@yandex.ru

Michail N. Rysev, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira st., v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9291-7593>

Tamara A. Ryseva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira st., v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5420-8419>

Svetlana V. Utkina, senior researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira st., v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7006-6713>

Nadezhda V. Romanova, researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, the separate division Pskov Research Institute of Agriculture, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 1, Mira st., v. Rodina, Pskov district, Pskov region, Russian Federation, 180559, e-mail: info.psk@fncl.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4661-7810>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Уровень освещенности как регулятор роста микрорастений картофеля *in vitro*

© 2025. В. Ю. Ступко¹✉, С. Ю. Луговцова¹, Н. С. Помыткин¹,
К. В. Кукушкина¹, А. И. Черемисин²

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства, г. Красноярск, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», г. Омск, Российская Федерация

Цель исследований – определить влияние увеличения плотности потока фотосинтетически активных фотонов (ППФАФ) со 100 до 200 мкмоль/м²с на рост, развитие и морфогенез *in vitro* одноузловых микрочеренков картофеля сортов Краса Мещеры, Садон (ФГБНУ ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха), Былина Сибири, Иртыш (Омский АНЦ). Увеличение ППФАФ сопровождалось укорачиванием побегов на 12–32 % в зависимости от сорта и уменьшением числа междоузлий у всех сортов минимум на 10 %. Наблюдали перераспределение накопления биомассы в сторону корневой системы у всех сортов, кроме Иртыш. Сорта селекции ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха формировали более плотные листья. У сорта Иртыш отмечено снижение содержания хлорофиллов и каротиноидов, у сорта Краса Мещеры – увеличение. Площадь четвертого листа была максимальной у этих сортов при 200 мкмоль/м²с. Увеличивалась устойчивость цепи передачи электронов фотосистемы 2 к высокой ППФАФ, что видно из роста параметров флуоресценции хлорофилла А: максимальной скорости транспорта электронов и минимальной насыщающей интенсивности света, а также динамики быстрых световых кривых фотохимического тушения флуоресценции. Только у сорта Краса Мещеры наблюдали снижение F_v/F_m . К сортоспецифичным реакциям также отнесены: сокращение доли растений с ветвлением у сорта Иртыш; увеличение частоты образования каллусных глобул в корневой зоне и эдем на листьях и побегах у сортов омской селекции; формирование микроклубней в пазухе инициирующего черенка у сорта Краса Мещеры. Таким образом, увеличение ППФАФ до 200 мкмоль/м²с у большинства исследованных сортов приводит к формированию более подходящих растений для высадки в грунт или условия аэропонных/гидропонных установок: невысокие, с хорошо развитой корневой системой, большей площадью листьев и адаптированностью фотосистем к высокой интенсивности света. Исключением является сорт Краса Мещеры, в том числе из-за чрезмерно коротких побегов (от 2 до 36 мм). Для микроклонального размножения более подходящим является уровень ППФАФ 100 мкмоль/м²с, за исключением сорта Иртыш из-за увеличивающейся в этих условиях частоты ветвления.

Ключевые слова: микроклональное размножение, *Solanum tuberosum*, культура межузловых черенков, освещенность, быстрые световые кривые, пигменты фотосинтеза

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук» (тема № 123071800021-5).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ступко В. Ю., Луговцова С. Ю., Помыткин Н. С., Кукушкина К. В., Черемисин А. И. Уровень освещенности как регулятор роста микрорастений картофеля *in vitro*. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1026–1037. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1026-1037>

Поступила: 15.05.2025

Принята к публикации: 25.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Illumination intensity as a growth regulator for potato microplants *in vitro*

© 2025. Valentina Yu. Stupko✉, Svetlana Yu. Lugovtsova¹,
Nikolay S. Pomytkin¹, Kristina V. Kukushkina¹, Aleksandr I. Cheremisin²

¹Federal Research Center «Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences», Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Omsk Agricultural Scientific Center, Omsk, Russian Federation

The aim of the study is the determination of the effect of increasing the photosynthetic photon flux density (PPFD) from 100 to 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ on the *in vitro* growth, development and morphogenesis of single-node cuttings of potatoes of different cultivars. The following cultivars were involved into the investigation: 'Krasa Meshchery', 'Sadon' (Lorkh Federal Research Center of Potato), 'Bylina Sibiri', 'Irtysh' (Omsk Agricultural Scientific Center). The increase in PPFD was accompanied by a shortening of shoots by 12–32 %, depending on the cultivar, and a decrease in the number of internodes for all varieties by at least 10 %. A redistribution of biomass accumulation towards the root system was observed for all cultivars except the 'Irtysh' cultivar. The cultivars bred by the Lorkh Federal Research Center of Potato formed firm leaves. The 'Irtysh' cultivar showed

a decrease in the content of chlorophylls and carotenoids, while the 'Krasa Meshchery' cultivar showed an increase. The area of the 4th leaf of these cultivars was maximum at 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$. The stability of the electron transport chain of photosystem 2 to high PPFD increased, which is evident from the growth of chlorophyll A fluorescence parameters: maximum electron transport rate and minimum saturating light intensity, as well as the dynamics of rapid light curves of photochemical fluorescence quenching. Only the 'Krasa Meshchery' cultivar showed a decrease in Fv/Fm. Cultivar-specific reactions also included: a decrease in the proportion of plants with bushiness of the 'Irtys' cultivar; an increase in the frequency of callus globule formation in the root zone and edema on leaves and shoots of Omsk-bred cultivars; and the formation of microtubers in the axil of the initiating cutting of the 'Krasa Meshchery' cultivar. Thus, increasing the PPFD to 200 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ leads to the formation, for most of the studied cultivars, of plants that are more suitable for planting in soil or aeroponic/hydroponic conditions: low, with a well-developed root system, a larger leaf area and photosystems adapted to high light intensity. The exception is the cultivar 'Krasa Meshchery' due to the excessively short shoots (from 2 to 36 mm). For micropropagation, PPFD of 100 $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$ is more suitable, with the exception of the cultivar 'Irtys' due to the frequency of bushiness increasing under these conditions.

Keywords: micropropagation, *Solanum tuberosum*, nodal cuttings culture, irradiance, rapid light curves, photosynthetic pigments

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 Research Center "Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences" (theme no. 123071800021-5).

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: Stupko V. Yu., Lugovtsova S. Yu., Neshumaeva N. A., Pomytkin N. S., Kukushkina K. V., Cheremisin A. I. Illumination intensity as a growth regulator for potato microplants *in vitro*. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1026–1037. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1026-1037>

Received: 15.05.2025

Accepted for publication: 25.09.2025

Published online: 31.10.2025

Микроклональное размножение картофеля проводится с использованием богатых питательных сред, где около 60 % биомассы накапливается за счёт метаболизма сахаров [1], поступающих извне. Однако характеристики освещения остаются важным фактором в развитии микроклонов и эффективности тиражирования [2].

Работы в области микроклонального размножения картофеля, как и других культур, зачастую проводятся при малых уровнях плотности потока фотосинтетически активных фотонов (ППФАФ), не превышающих 100 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$ [3, 4, 5], либо близких к точке компенсации [6, 7, 8], определенной в работе [9] как 50 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$. Увеличение ППФАФ до 100 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$ связывают с увеличением площади листьев, их числа, а также темпов накопления биомассы [5], в то время как дальнейшее повышение интенсивности освещения – с уменьшением высоты растений [10]. Последний эффект, однако, по данным [11], видо- и сортоспецифичен, и увеличение ППФАФ со 135 до 230 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$ может вызывать как укорачивание побегов, так и их удлинение. Реакция микрорастений на качество освещения в зависимости от сорта, по данным Т. Н. Лисиной с соавт. [12], показана во многих исследованиях. Вопрос об оптимальной ППФАФ для микроклонального размножения картофеля широко исследуется и данные, полученные на разных сортах и с использованием различных источников света, сильно разнятся [13]. В свою очередь, соотношение морфологических изменений с процессами фотосинтеза и накопления основных пигментов проводились в единичных

работах на культурах микроклонов [14, 15, 16]. В отношении одноузловых черенков картофеля исследование газообмена при различных уровнях освещенности, вплоть до 120 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$, описано в работе Ю. Китая с соавт. (Y. Kitaya et al., 1995 г.) [17].

Цель исследования – определить реакции ряда новых сортов картофеля на уровень освещенности при культивировании одноузловых черенков *in vitro*.

Научная новизна – проведена комплексная оценка влияния уровня освещенности на морфометрические параметры микрорастений, накопление фотосинтетических пигментов и процессы фотосинтеза новых сортов картофеля *in vitro*.

Материал и методы. Объектом исследования служила культура одноузловых черенков картофеля сортов Краса Мещеры, Садон (селекция ФГБНУ ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха), предоставленных Красноярским ГАУ, а также Былина Сибири, Иртыш (селекция Омского АНЦ), предоставленных Омским АНЦ в рамках договора о научном сотрудничестве №ОА-1 от 17.04.2024. Культивирование проводили на безгормональной среде Мурасиге-Скуга при 16-часовом дне и температуре 22–25 °С днем и 18–22 °С ночью при ППФАФ 100 или 200 $\mu\text{моль}/\text{м}^2\text{с}$ в закупоренных фольгированными колпачками пробирках П-2-16-150, размещенных в штативах ШЛПП-40 (высота штатива 75 мм) по 40 штук в каждом (биологическая повторность трехкратная, 40 растений каждого сорта в каждом из опытов). В качестве

источников света использовали лампы DS-FITO A 75 («Диод Систем», Россия) с комбинированным, приближенным к солнечному спектром (440-460 нм – 17 %; 640 нм – 79 %; 730 нм – 4 %). Уровень ППФАФ контролировали спектрофотометром ТКА-Спектр (НТП «ТКА», Россия) на уровне верхней планки штатива.

После трех недель культивирования фиксировали ряд параметров листьев. Площадь измеряли в программе AreaS 2.1 (А. Пермяков, Самарская государственная сельскохозяйственная академия). Содержание хлорофиллов *a* ($C_{ХлА}$), *b* ($C_{ХлВ}$) и каротиноидов ($C_{Кар}$) определяли в листьях над верхней планкой штатива по методике [18] в спиртовых вытяжках согласно формулам:

$$C_{ХлА} = 13,96D_{665} - 5,19D_{649}, \quad (1)$$

$$C_{ХлВ} = 27,43D_{649} - 8,12D_{665}, \quad (2)$$

$$C_{Кар} = \frac{(1000D_{470} - 2,13C_{ХлА} - 97,64C_{ХлВ})}{209}, \quad (3)$$

где C – концентрация пигмента, мкг/мл 95%-го этанола; D_{665} , D_{649} , D_{470} – оптическая плотность экстракта на соответствующей длине волны, измеренная на спектрофотометре ПЭ-5400ВИ («Экротех», Россия).

Параметры флуоресценции хлорофилла *a* (ФХ) трёх листьев над верхней планкой штатива (незатененных колпачками или планкой штатива) фиксировали в режиме записи быстрой световой кривой (БСК) фотосинтеза (5–7 растений каждого сорта в каждом из условий) с использованием ПАМ-флуориметра (Junior PAM, Walz, Германия) после темновой адаптации, которую проводили в закрытых пробирках не менее 1 часа. Расчет параметров БСК: максимального квантового выхода ФС2 (F_v/F_m), коэффициента фотохимического тушения флуоресценции при условии сцепки антенн ФС2 (qP) осуществляли в программе WinControl-3 (Walz, Германия). Максимальную скорость транспорта электронов ($СТЭ_{\max}$) через фотосистему 2 (ФС2) и минимальную насыщающую интенсивность светового потока E_k рассчитывали после подгонки моделей согласно [19].

Сухой вес органов микрорастений определяли после высушивания при 50 °С в течение 5 часов до достижения постоянного веса.

Анализ данных проводили с использованием пакета R 4.0.4 в среде разработки RStudio 2024.12.0 (2009-2025 Posit Software, PBC). Соответствие распределения данных нормальному оценивали тестом Шапиро-Уилкса, равенство дисперсий – по критерию Левина. Достоверность различий между усло-

виями по морфометрическим параметрам и параметрам ФХ микрорастений определяли, в зависимости от результатов анализа распределения, с использованием *t*-критерия Стьюдента или теста Манна-Уитни. Частотный анализ проводили с использованием точного критерия Фишера.

Результаты и их обсуждение. Увеличение уровня ППФАФ со 100 до 200 мкмоль/м²с приводило к уменьшению высоты микрорастений и количества междоузлий у всех исследованных сортов (табл. 1). Эти данные согласуются с полученными в работах [5, 10, 20]. У сорта Садон длина сократилась на 32 %, Былина Сибири – на 26 %, Иртыш – на 12 %. Наименьшую высоту при 200 мкмоль/м²с имели микрорастения сорта Краса Мещеры – 36,00 мм. Все без исключения растения образовывали корни.

У сорта Краса Мещеры отмечено формирование утолщения, схожего с микроклубнем, в пазушной почке иницирующего черенка. Зачастую побег формировался на этом «микроклубне». Такое явление наблюдали с частотой до 60 % при уровне освещенности 200 мкмоль/м²с. Как результат, 25 % (Q_1) растений к концу цикла культивирования имели всего по одному сформированному *de novo* междоузлию. При 100 мкмоль/м²с такое утолщение фиксировали со статистически значимо меньшей частотой в 20 % ($F = 7,93$, $p < 0,01$). У сорта Садон имелись единичные растения с подобными структурами при 100 мкмоль фотонов/м²с; в условиях высокой освещенности утолщений у основания черенка данный сорт не образовывал.

Сорта омской селекции выделялись наличием каллусных наростов на корневой системе. У сорта Былина Сибири к 3-й неделе частота этого явления не отличалась между вариантами опыта, достигая 49–59 %. Каллус был плотным его сухая масса у этого сорта при 100 мкмоль/м²с превышала данные при 200 мкмоль/м²с в 2 раза. Однако частота формирования каллуса ко 2-й неделе была выше при 200 мкмоль/м²с. Образование каллусной ткани в области корней упоминается в работе [21] при добавлении в среду НУК, в том числе в сочетании с БАП как индукторов микроклубнеобразования. Не удалось найти упоминания такого явления в работах, проводимых на безгормональных средах, возможно из-за того, что в случае микроклонального размножения данным явлением можно пренебречь. В своей работе ранее мы также наблюдали образование таких структур у отдельных сортов (данные не приводятся). Вероятно, это является сортоспецифичной реакцией на условия *in vitro*. Необходимо учитывать,

Таблица 1 – Морфометрические параметры микрорастений картофеля при различном уровне освещенности /
Table 1 – Morphometric parameters of potato microplants under different illumination intensity

Сорт / Cultivar	ППФАФ, мкмоль/м ² с / PPFD μmol/m ² s	Число междоузлий, шт./раст. / Internode quantity, pcs/plant (Me[25/75])	Длина побега, мм / Stem length, mm Me[25/75]	Доля микрорастений с каллусообразованием в области корневой системы, % / Part of plants with calluses on roots, %		Сухой вес каллуса, г/растение (среднее±ст. откл.) / Callus dry weight, g/plant (Mean±SE)	Частота ветвления, отн. ед. / Bushiness frequency, r.u.		Доля микро- растений с эдемой, % / Part of plants with edema, %
				14 сут / 14 days	21 сут / 21 days		14 сут / 14 days	21 сут / 21 days	
Былина Сибирь / 'Bylina Sibir'	100	5,00 [4,00 / 6,00]	50,00 [42,00 / 54,00]	46,15	48,72	0,014±0,005	0,03	0,13	79,49
	200	4,00 [4,00 / 5,00]*	37,00 [30,50 / 42,00]***	58,97*	58,97	0,007±0,002*	0,03	0,05	92,31
Иртыш / 'Irtysh'	100	11,00 [10,00 / 11,00]	125,00 [106,00 / 125,00]	37,50	82,50	0,003±0,001	0,55	0,98	55,00
	200	10,00 [7,50 / 11,00]*	110,00 [87,50 / 120,00]**	55,00*	85,00	0,004±0,001	0,40	0,40*	87,50*
Краса Мещеры / 'Krasa Meshchery'	100	4,00 [3,00 / 5,00]	110,00 [61,50 / 125,00]	0,00	0,00	-	0,00	0,00	0,00
	200	3,00 [1,00 / 4,00]***	36,00 [2,00 / 63,00]***	0,00	0,00	-	0,03	0,03	0,00
Садон / 'Sadon'	100	5,00 [5,00 / 6,00]	125,00 [120,00 / 125,00]	0,00	5,56	-	0,03	0,03	0,00
	200	5,00 [4,00 / 5,25]*	85,00 [58,75 / 120,00]***	0,00	0,00	-	0,03	0,03	0,00

Примечания: здесь и далее в табл. 2–4 и рис. 2–4 статистически значимые различия между уровнями ППФАФ: * – при p<0,05, ** – p<0,01, *** – p<0,001 /
Notes: here and further in tables 2–4 and fig. 2–4 statistically significant difference between PPFD levels at * – p<0,05, ** – p<0,01, *** – p<0,001

что при высадке в грунт такие структуры станут субстратом для сапрофитных микроорганизмов, что может снизить эффективность акклиматизации.

Боковые побеги не являются источником дополнительных черенков, поскольку имеют меньший диаметр, чем основной побег и мелкие листья. Высокую склонность к ветвлению продемонстрировал сорт Иртыш. Однако в отличие от данных, полученных в работе [10], увеличение освещенности приводило к уменьшению частоты ветвления, которая в условиях сниженной освещенности была близка к 100 %. Формирующиеся при этом растения образовывали более 2 боковых побегов. В связи с чем, несмотря на увеличение числа междоузлий, многие из них становились непригодными для черенкования. При тиражировании материала в нашей работе такие растения обычно отбраковываются. У сортов Краса Мещеры и Садон данное явление носило скорее случайный характер – достоверных различий с нулевой частотой не выявлено.

В отношении сортов селекции Омского АНЦ зафиксировано ещё одно нежелательное явление – формирование наростов (эдем), имевшее порой генерализованный характер, зачастую до 90 % площади стебля или листа (рис. 1). Увеличение освещенности сопровождалось ростом частоты этого явления у сорта Иртыш. Доля микрорастений сорта Былина Сибири с подобными структурами находилась в пределах 79–92 % и не зависела от освещенности (табл. 1).

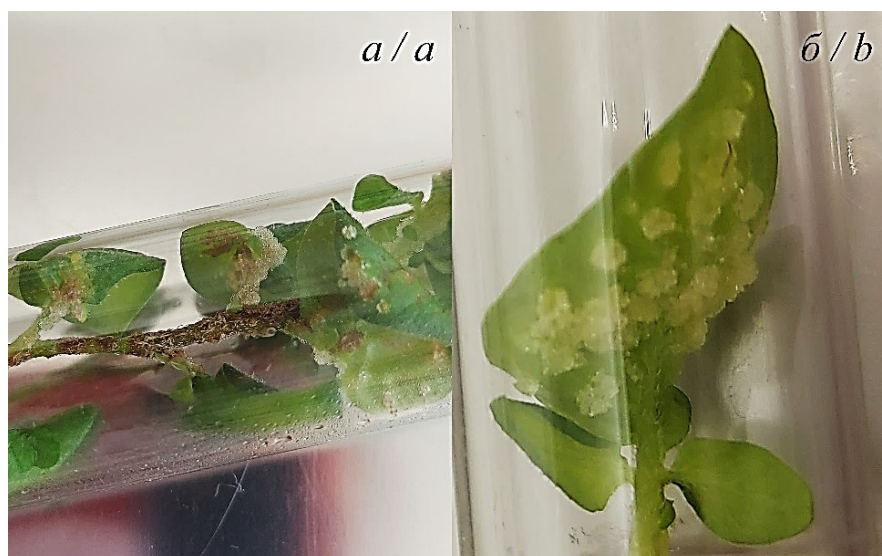


Рис. 1. Эдемы на стебле (а) и листе (б) микрорастения картофеля сорта Былина Сибири /
Fig. 1. Edems on the stem (a) and leaf (b) of potato microplant of 'Bylina Sibiri' cultivar

Сорта селекции ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха не имели новообразований на побегах и листьях. Следует отметить, что ранее таких структур не наблюдали ни у одного из сортов, входящих в коллекцию Красноярского НИИСХ. По всей видимости, здесь имеет место формирование эдем, упомянутое в работе [22]: эдемы образовывались при освещении микрорастений картофеля флуоресцентными лампами полного и синего спектров (ППФАФ 100 мкмоль/м²с). Авторы указывают на сорто-специфический характер – часть генотипов не имели таких наростов.

Образование эдем на листьях и черешках взрослых растений *ex vivo* чаще всего происходит, согласно данным исследований на различных сельскохозяйственных культурах [23], при низкой освещенности и высокой влажности, которые наблюдаются и в условиях пробирочной культуры. В текущем эксперименте, вероятно, сорта омской селекции были менее устойчивы к условиям высокой влажности.

В зависимости от условий освещенности изменялся и характер распределения процессов накопления биомассы. С увеличением ППФАФ наблюдали снижение доли сухого вещества, накапливаемого в стебле от общей массы растения (табл. 2). При этом увеличился сухой вес корней у всех сортов омской селекции и Краса Мещеры, сухой вес листьев у сортов селекции ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха на фоне сокращения их количества (количества междоузлий (табл. 1)).

Увеличилась доля листьев и корней в общем весе растения. В целом наблюдали перераспределение сухого веса в корневую зону, что видно из снижения отношения побегов к корням

(табл. 2). Полученные результаты согласуются с данными исследования на саженцах томата, где увеличение ППФАФ со 150 до 250 мкмоль/м²с приводило к уменьшению сухого веса побегов на фоне увеличения сухого веса корневой системы [24].

В работе на микрорастениях картофеля в автотрофной культуре [17] сухой вес растений увеличивался, а соотношение побегов к корням также снижалось при увеличении ППФАФ с 30 до 90 мкмоль/м²с. Дальнейшее увеличение освещенности вплоть до 120 мкмоль фотонов/м²с не приводило к изменению этих параметров. В противоположность, в работе [10] на сортах картофеля Рождественский и Снегирь показано снижение накопления биомассы при увеличении ППФАФ со 135 до 230 мкмоль/м²с и уменьшение веса корней.

Повышение уровня ППФАФ привело к статистически значимому увеличению площади четвертого снизу листа у большинства сортов (рис. 2, в). У сорта Иртыш площадь листьев отмечена больше уже у третьего по счёту листа (рис. 2, б). В свою очередь, статистически значимых различий по площади 2, 5-го листьев (рис. 2, а, г), а также листьев со всего растения между уровнями ППФАФ выявлено не было (данные не приводятся).

При этом увеличение сухого веса листьев у сортов селекции ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха (табл. 2) говорит о формировании более плотных листовых пластин. В работе [17] площадь листьев выходила на плато после 90 мкмоль/м²с. В исследованиях Е. П. Субботина с соавт. [10] наблюдали максимальную длину листьев при 135 мкмоль/м²с, снижавшуюся,

в противоположность полученным нами результатам, с увеличением ППФАФ при неизменной ширине листа.

Увеличение ППФАФ сопровождалось снижением содержания хлорофиллов на единицу сухого веса листа, а также каротиноидов у сорта Иртыш (табл. 3).

Аналогичные результаты получены в автотрофной культуре табака в работе [15] и в гетеротрофной культуре *Liquidambar styraciflua* L. [14]. В последнем случае снижение содержания хлорофиллов в микрорастениях, как и увеличение размеров светособирающих комплексов (ССК) (снижение соотношения $ХлА/ХлВ$), наблюдали с ростом ППФАФ со 155 до 315 мкмоль/м²с.

В то же время для гетеротрофной культуры табака [15] на среде с 3%-й сахарозой показано увеличение суммарного содержания хлорофиллов и каротиноидов с ростом ФАФ с 60 до 200 мкмоль/м²с, как и у сорта Краса Мещеры в текущем эксперименте (табл. 3), у которого повышалось содержание пигментов и отношение $Хл/Кар$, а также снижались размеры ССК. В среднем у всех сортов зафиксирована способность к поддержанию большей скорости транспорта электронов через ФС2 растениями, культивируемыми при 200 мкмоль/м²с, которая выразилась в большей $СТЭ_{макс}$ и высоких значениях E_k (табл. 4). Увеличение $СТЭ_{макс}$ на треть с ростом ППФАФ с 50 до 150 мкмоль/м²с показано также в работе [16] на микрорастениях *Castanea sativa* Mill. на средах с сахарозой.

Максимальный квантовый выход (F_v/F_m) у сортов селекции ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха в среднем был ниже при 200 мкмоль фотонов/м²с. Снижение F_v/F_m при увеличении ППФАФ со 150 до 250 мкмоль/м²с показано в работе [24] на саженцах томата. В то же время дальнейшее увеличение освещенности в упомянутой работе приводило к увеличению этого параметра. В работе [4] на микрорастениях клубники увеличение ППФАФ с 50 до 100 мкмоль/м²с приводило также к снижению F_v/F_m .

Таблица 2 – Характеристика накопления сухого вещества микрорастениями картофеля в различных условиях освещенности *in vitro* (среднее±ст.ош.) /
Table 2 – Ways of dry matter accumulation of potato microplants under different conditions of illumination *in vitro* (mean±SE)

Параметр / Parameter	Орган / Organ	Былина Сибирь / ‘Bylina Sibiri’		Иртыш / ‘Irtys’		Краса Мещеры / ‘Krasa Meshchery’		Садон / ‘Sadon’	
		ППФАФ, мкмоль/м²с / PPFD, μmol/m²s							
		100	200	100	200	100	200	100	200
Сухой вес, г/растение / Dry weight, g/plant	Стебель / Stem	0,012±0,001	0,009±0,001	0,02±0,001	0,023±0,001	0,075±0,004	0,041±0,001**	0,117±0,003	0,103±0,007**
	Корни / Roots	0,015±0,001	0,016±0,001	0,013±0,001	0,017±0,001*	0,026±0,002	0,037±0,002*	0,069±0,007	0,109±0,021
	Листья / Leaves	0,010±0,001	0,009±0,001	0,006±0	0,007±0,001	0,023±0,002	0,032±0,001**	0,038±0,003	0,070±0,005**
	Растение / Plant	0,037±0,001	0,034±0,001	0,039±0,002	0,047±0,001**	0,018±0,001	0,027±0,001**	0,032±0,002	0,040±0,004**
Отношение веса побега к весу корневой системы / Shoot weight to roots weight ratio		1,43±0,02	1,09±0,06*	1,96±0,04	1,81±0,08	3,81±0,12	1,99±0,09**	2,27±0,17	1,69±0,27**
Вес органа к весу растения / Organ weight to plant weight ratio	Стебель / Stem	0,33±0,01	0,27±0,01**	0,52±0,01	0,49±0,01*	0,61±0,01	0,37±0,01**	0,52±0,02	0,37±0,02**
	Корни / Roots	0,41±0	0,48±0,01*	0,34±0	0,36±0,01	0,21±0	0,34±0,01**	0,31±0,02	0,38±0,04**
	Листья / Leaves	0,26±0	0,25±0,01	0,14±0,01	0,15±0	0,18±0,01	0,29±0,01**	0,17±0	0,25±0,03**

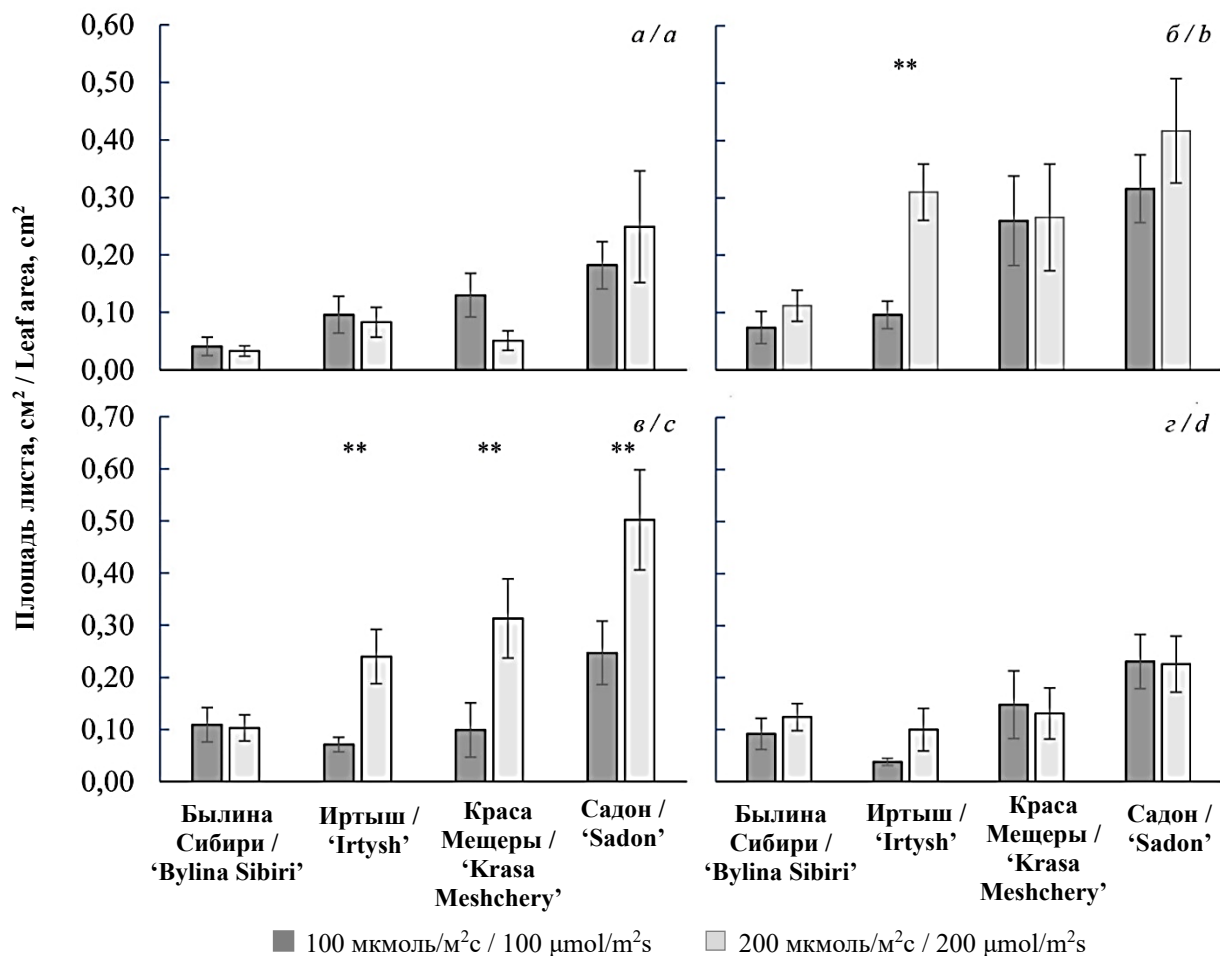


Рис. 2. Влияние ППФАФ на площадь 2-го (а), 3-го (б), 4-го (в) и 5-го (г) по счёту листьев микро-растений картофеля у различных сортов (среднее±ст.ош.) /

Fig. 2. Influence of PPFD on area of the 2nd (a), 3rd (b), 4th (c) and 5th (d) leaf of potato microplants of different cultivars (mean±SE)

Таблица 3 – Концентрация фотосинтетических пигментов в листьях микро-растений картофеля при разном уровне ППФАФ (среднее±ст.ош.) /

Table 3 – Photosynthetic pigments concentration in leaves of potato microplants under different PPFD (mean±SE)

Сорт / Cultivar	ППФАФ, мкмоль/м²с / PPFD, μmol/m²s	Концентрация пигментов, мг/г сухого веса / Pigment concentration, mg/g of dry weight				Хл/Кар / Chlorophylls / Carotenoids	Доля ХлВ в ССК / Part of Chl b in LHC
		Кар / Carotenoids	ХлА / Chl a	ХлВ / Chl b	ХлА+ХлВ / Chl a+Chl b		
Былина Сибири / 'Bylina Sibiri'	100	0,84±0,2	3,01±0,82	1,17±0,33	4,19±1,14	4,81±0,26	0,61±0,02
	200	1,05±0,17	3,4±0,8	1,31±0,27	4,71±1,07	4,39±0,48	0,63±0,04
Иртыш / 'Irtiysh'	100	0,49±0,04	1,87±0,18	0,67±0,07	2,54±0,25	5,12±0,07	0,58±0,01
	200	0,18±0,02**	0,41±0,09**	0,16±0,03**	0,57±0,12**	3,09±0,47**	0,66±0,08
Краса Мещеры / 'Krasa Meshchery'	100	0,79±0,03	3,26±0,13	1,21±0,03	4,46±0,16	5,67±0,11	0,59±0,01
	200	1,02±0,26	4,76±1,28	1,64±0,44	6,41±1,73*	6,20±0,05**	0,56±0,01*
Садон / 'Sadon'	100	0,41±0,05	1,72±0,23	0,67±0,09	2,40±0,32	5,73±0,15	0,61±0,01
	200	0,69±0,15	3,00±0,66	1,08±0,23	4,09±0,89	5,92±0,12	0,59±0,02

Таблица 4 – Основные характеристики нециклического транспорта электронов в листьях микрорастений картофеля при разной ППФАФ /

Table 4 – The main characteristics of noncyclic electron transport in the leaves of the microplants under different level of PPFD

<i>Copm / Cultivar</i>	ППФАФ, мкмоль/м ² с / PPFD, $\mu\text{mol}/\text{m}^2\text{s}$	$CT\mathcal{E}_{\text{макс}} /$ ETR_{max}	E_k	F_v/F_m
Былина Сибири / 'Bylina Sibiri'	100	52,92±1,94	264,35±15,98	0,830±0,002
	200	65,75±2,79*	266,55±16,02	0,821±0,004
Иртыш / 'Irtys'	100	36,67±4,28	253,65±20,85	0,799±0,013
	200	54,24±4,08**	343,24±27,66*	0,822±0,003
Среднее* / Avarage*	100	44,70±2,79	315,22±24,59	0,816±0,007
	200	56,89±2,77**	362,78±21,77	0,822±0,002
Краса Мещеры / 'Krasa Meshchery'	100	50,84±4,37	211,31±22,21	0,828±0,004
	200	59,08±4,97	271,89±18,19	0,820±0,005
Садон / 'Sadon'	200	53,07±5,32	221,34±30,67	0,829±0,003
	200	76,74±5,31*	295,93±29,78	0,815±0,007
Среднее** / Avarage**	100	51,85±2,72	267,34±18,30	0,828±0,003
	200	67,02±3,95**	340,32±17,05**	0,817±0,005*
Среднее / Avarage	100	47,20±2,10	298,52±17,45	0,820±0,004
	200	61,26±2,42**	353,08±14,34*	0,820±0,002

* По сортам селекции Омского АНЦ; ** по сортам селекции ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха /

* Among the cultivars bred by Omsk Agricultural Scientific Center; ** among the cultivars bred by Lorkh Federal Research Center of Potato

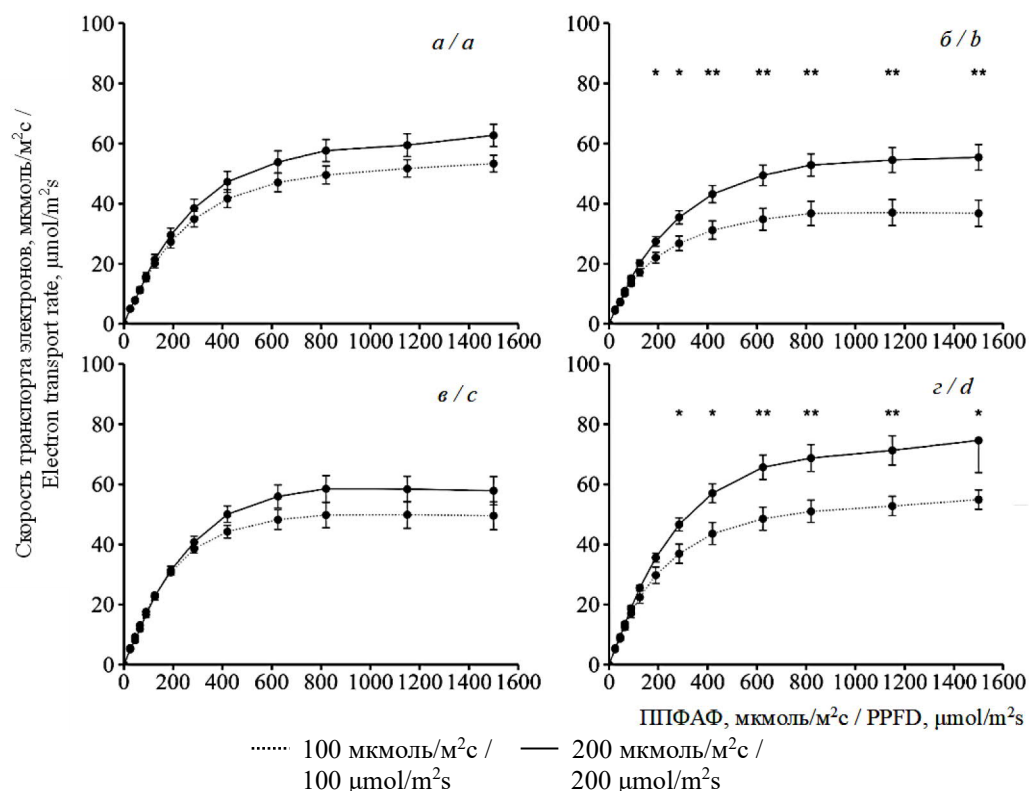


Рис. 3. Скорость транспорта электронов через ФС2 листьев микрорастений картофеля при разной интенсивности освещения у сортов картофеля: Былина Сибири (а); Иртыш (б); Краса Мещеры (в); Садон (г) /

Fig. 3. Electron transport rate through PS2 of leaves of potato microplants of different cultivars: 'Bylina Sibiri' (a); 'Irtys' (b); 'Krasa Meshchery' (c); 'Sadon' (d) under different illumination intensity

Снижение F_v/F_m в автотрофной культуре при ППФАФ 200 мкмоль/м²с отмечено и в работе [15] на микрорастениях табака. В то время как при гетеротрофном типе культуры увеличение ППФАФ с 60 до 200 мкмоль/м²с не приводило к снижению F_v/F_m . В работе [9] с микрорастениями картофеля, культивируемыми при 300 и 600 мкмоль/м²с, не выявлено различий в скорости ассимиляции CO₂ при записи световой кривой вплоть до 1100 мкмоль/моль CO₂.

У растений сорта Иртыш, выращенных при 200 мкмоль фотонов/м²с, на фоне снижения содержания пигментов фотосинтеза зафиксиро-

вано статистически значимо большая СТЭ на протяжении всей БСК, чем у сформировавшихся при ППФАФ 100 мкмоль/м²с (рис. 3). Аналогичная форма БСК отмечена у микрорастений сорта Садон.

Активная работа цепи передачи электронов у растений, культивируемых при высоком уровне ППФАФ, видна и по числу открытых реакционных центров (РЦ), что отражает коэффициент фотохимического тушения флуоресценции q_P у всех генотипов (рис. 4, а, б, г), кроме сорта Краса Мещеры (рис. 4, в).

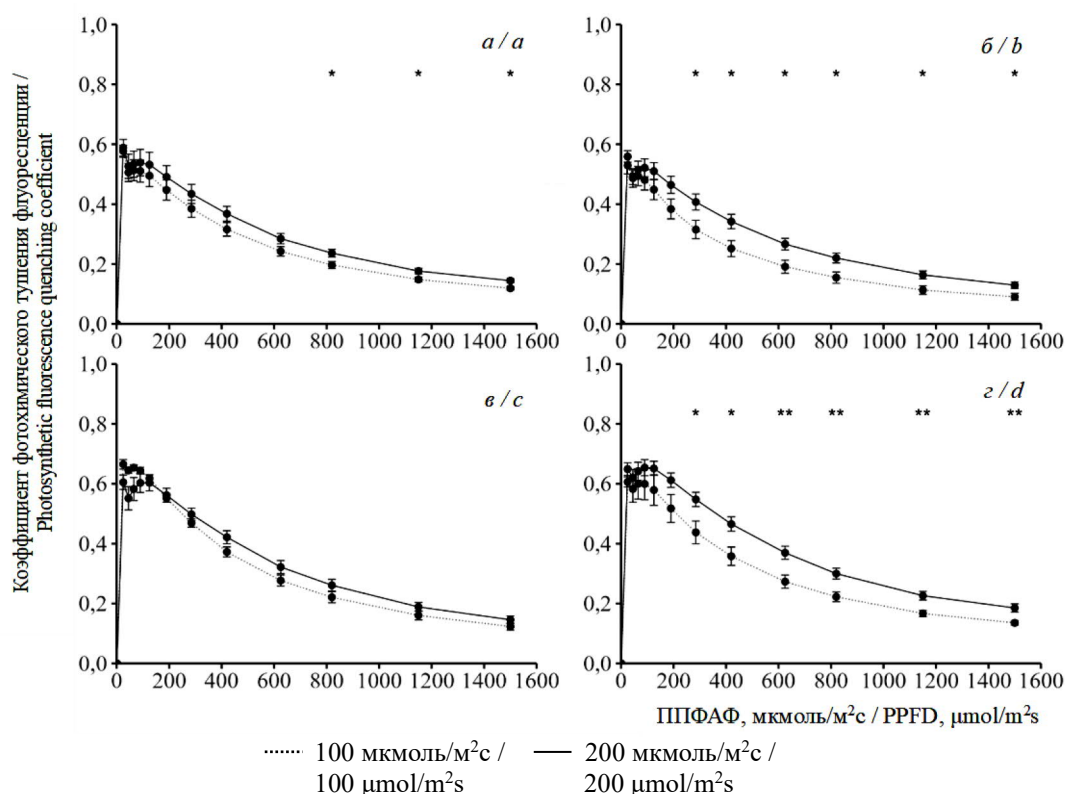


Рис. 4. Коэффициент фотохимического тушения флуоресценции листьев микрорастений картофеля при разной интенсивности освещения у различных сортов картофеля: Былина Сибири (а); Иртыш (б); Краса Мещеры (в); Садон (г) /

Fig. 4. Photosynthetic fluorescence quenching coefficient of leaves of potato microplants of different cultivars: 'Bylina Sibiri' (a), 'Irtysh' (b), 'Krasa Meshchery' (c), 'Sadon' (d) under different illumination intensity

При первых вспышках насыщающего света закрытие РЦ происходило схожим образом у микрорастений в обоих вариантах опыта. В дальнейшем работоспособность цепи передачи электронов у растений с низким уровнем ППФАФ восстанавливалась медленнее. В работе [16] получены аналогичные результаты относительно пропорции открытых реакционных центров при 50 и 150 мкмоль/м²с, говорящие о повышенной эффективности конверсии световой энергии растений, сформировавшихся при большей освещенности.

Заключение. Результаты комплексной оценки реакций микрорастений сортов картофеля на изменение уровня освещенности показали, что наилучшим вариантом по эффективности микроклонального размножения является ППФАФ 100 мкмоль/м²с, обеспечивающий большее число и длину междоузлий. Высокая освещенность, 200 мкмоль фотонов/м²с, лучше подходит для выращивания микрорастений, предназначенных для высадки в грунт или условия аэропонных установок, как способствующая формированию более низкорослых

растений с хорошо развитой корневой системой и большей эффективностью работы фотосинтетического аппарата, что будет способствовать их скорейшей акклиматизации после пересадки. При этом необходимо учитывать особенности отдельных сортов. Так, сорт Иртыш даже при 200 мкмоль/м²с формирует очень длинные побеги, не снижая соотношения побеги/корни. Для данного сорта необходимо подобрать условия для формирования более компактных растений в разрезе посадочного материала. Сорт Краса Мещеры в этих условиях формирует очень мелкие растения с видоизмененными побегами, которые, возможно, будут иметь низкую приживаемость *in vivo*. При низкой освещенности сорт Иртыш начинает активнее ветвиться, что делает такие условия менее предпочтительными для тиражирования растений, чем при повышенной – 200 мкмоль/м²с.

На основании полученных в эксперименте данных и анализа исследований других авторов можно сделать заключение о том, что использование ППФАФ в пределах 100 мкмоль/м²с способствует увеличению

размеров микрорастений, биомассы побегов, содержания пигментов в листьях и максимального эффективного квантового выхода ФС2. В то время как дальнейшее увеличение ППФАФ, наоборот, стимулирует набор корневой массы, снижает содержание фотосинтетических пигментов на фоне увеличения площади листьев отдельных ярусов, повышая устойчивость цепи передачи электронов к высокой ППФАФ, что видно из увеличения $ST\dot{E}_{max}$. Сортоспецифичность реакции, описанная другими авторами, показана и в нашей работе. Например, сорт Краса Мещеры по содержанию пигментов имеет динамику, отличную от указанной выше, и формирует микроклубни уже в первую неделю культивирования при высокой ППФАФ. Сорт Былина Сибири не увеличивает площадь листьев с ростом интенсивности ППФАФ. Сорта омской селекции образуют как скопления дедифференцированных клеток в области корневой зоны, так и эдемы на «надземной» части растения, а частота этих явлений зависит от уровня ППФАФ.

References

1. Wolf S., Kalman-Rotem N., Yakir D., Ziv M. Autotrophic and heterotrophic carbon assimilation of *in vitro* grown potato (*Solanum tuberosum* L.) plants. Journal of Plant Physiology. 1998;153(5-6):574–580. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0176-1617\(98\)80206-X](https://doi.org/10.1016/S0176-1617(98)80206-X)
2. Seabrook J. Light effects on the growth and morphogenesis of potato (*Solanum tuberosum*) in vitro: A review. American Journal of Potato Research. 2005;82:353–367. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02871966>
3. Головацкая И. Ф., Дорофеев В. Ю., Медведева И. Е., Никифоров П. Е., Карначук Р. А. Оптимизация условий освещения при культивировании микроклонов *Solanum tuberosum* L. сорта Луговской *in vitro*. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2013;(4):133–144. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134451> EDN: RUMPUZ
4. Golovatskaya I. F., Dorofeev V. Yu., Medvedeva I. E., Nikiforov P. E., Karnachuk R. A. Optimization of illumination conditions in cultivation process of *Solanum tuberosum* L. cv. Lugovskoy microcuttings *in vitro*. Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology. 2013;(4):133–144. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21134451>
5. Kepenek K. Photosynthetic Effects of Light-emitting Diode (LED) on in Vitro-derived Strawberry (*Fragaria x Ananassa* cv. Festival) Plants Under in Vitro Conditions. Erwerbs-Obstbau. 2019;61:179–187. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10341-018-00414-0>
6. Khalil M., Samy M., Aal A., Hamed A. The effect of light quality and intensity on in vitro potato cultures. Journal of Agricultural Sciences – Sri Lanka. 2023;18(3):364–374. DOI: <https://doi.org/10.4038/jas.v18i3.9930>
7. Мартиросян Ю. Ц., Диловарова Т. А., Мартиросян В. В., Креславский В. Д., Кособрюхов А. А. Действие светодиодного облучения различного спектрального состава на фотосинтетический аппарат растений картофеля в культуре *in vitro*. Сельскохозяйственная биология. 2016;51(5):680–687. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.130rus> EDN: WZJQJN
8. Martirosyan Yu. Ts., Dilovarova T. A., Martirosyan V. V., Kreslavskiy V. D., Kosobryukhov A. A. Photosynthetic apparatus of potato plants (*Solanum tuberosum* L.) grown *in vitro* as influenced by different spectral composition of led radiation. Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology. 2016;51(5):680–687. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2019.1.130rus>
9. Nakonechnaya O. V., Subbotin E. P., Grishchenko O. V., Gafitskaya I. V., Orlovskaya I. Yu., Kholin A. S. et al. In vitro potato plantlet development under different polychromatic LED spectra and dynamic illumination. Botanica Pacifica: a Journal of Plant Science and Conservation. 2021;10(1):69–74. DOI: <https://doi.org/10.17581/bp.2021.10102>

8. Grishchenko O., Subbotin E., Gafitskaya I., Vereshchagina Y., Burkovskaya E., Khrolenko Y. et al. Growth of Micropropagated *Solanum tuberosum* L. Plantlets under artificial solar spectrum and different mono- and polychromatic LED lights. *Horticultural Plant Journal*. 2022;8(2):205–214.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.hpj.2021.04.007>

9. Stutte G. W., Yorio N. C., Wheeler R. M. Interacting effects of photoperiod and photosynthetic photon flux on net carbon assimilation and starch accumulation in potato leaves. *Journal of the American Society for HortScience*. 1996;121(2):264–268. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.121.2.264>

10. Субботин Е. П., Гафитская И. В., Наконечная О. В., Журавлев Ю. Н., Кульчин Ю. Н. Влияние искусственного солнечного света на рост и развитие растений регенерантов *Solanum tuberosum*. *Turczaninowia*. 2018;21(2):32–39. DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.2.4> EDN: XVLNAT

Subbotin E. P., Gafitskaya I. V., Nakonechnaya O. V., Zhuravlev Yu. N., Kul'chin Yu. N. The influence of artificial sunlight and its intensity on the growth and development of *Solanum tuberosum* regenerants. *Turczaninowia*. 2018;21(2):32–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/turczaninowia.21.2.4>

11. Kulchin Y. N., Nakonechnaya O. V., Gafitskaya I. V., Grishchenko O. V., Epifanova T. Y., Orlovskaya I. Y. et al. Plant Morphogenesis under Different Light Intensity. *Defect and Diffusion Forum*. 2018;386:201–206. DOI: <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/ddf.386.201>

12. Лисина Т. Н., Бурдышева О. В., Шолгин Е. С. Влияние светодиодного освещения различного спектра на растения картофеля (*Solanum tuberosum* L.) при выращивании *in vitro* (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(6):913–923. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-92> EDN: XSVSWJ

Lisina T. N., Burdysheva O. V., Sholgin E. S. Effect of different LEDs light spectrum on potato (*Solanum tuberosum* L.) *in vitro* (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(6):913–923. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.6.913-92>

13. Варушкина А. М., Луговская Н. П., Максимов А. Ю. Рост и продуктивность картофеля (*Solanum tuberosum* L.) в условиях светокультуры. *Вестник Пермского федерального исследовательского центра*. 2019;(2):37–46. DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4> EDN: LBXBRF

Varushkina A. M., Lugovskaya N. P., Maksimov A. Yu. The growth and productivity of potato (*Solanum tuberosum* L.) in photoculture. *Vestnik Permskogo federal'nogo issledovatel'skogo tsentra* = *Perm Federal Research Centre Journal*. 2019;(2):37–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7242/2658-705X/2019.2.4>

14. Lee Ni, Wetzstein H. Y., Sommer H. E. Effects of Quantum Flux Density on Photosynthesis and Chloroplast Ultrastructure in Tissue-Cultured Plantlets and Seedlings of *Liquidambar styraciflua* L. towards Improved Acclimatization and Field Survival. *Plant Physiology*. 1985;78(3):637–641. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.78.3.637>

15. Kadlecěk P., Tichá I., Haisel D., Čapková V., Schäfer C. Importance of *in vitro* pretreatment for *ex vitro* acclimatization and growth. *Plant Science*. 2001;161(4):695–701. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(01\)00456-3](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(01)00456-3)

16. Sáez P. L., Bravo L. A., Latsague M. I., Sánchez M. E., Ríos D. G. Increased light intensity during *in vitro* culture improves water loss control and photosynthetic performance of *Castanea sativa* grown in ventilated vessels. *Scientia Horticulturae*. 2012;138:7–16. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.02.005>

17. Kitaya Y., Fukuda O., Kozai T., Kirdmanee C. Effects of light intensity and lighting direction on the photoautotrophic growth and morphology of potato plantlets *in vitro*. *Scientia Horticulturae*. 1995;62(1–2):15–24. DOI: [https://doi.org/10.1016/0304-4238\(94\)00760-D](https://doi.org/10.1016/0304-4238(94)00760-D)

18. Lichtenthaler H. K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 1987;148:350–382. DOI: [https://doi.org/10.1016/0076-6879\(87\)48036-1](https://doi.org/10.1016/0076-6879(87)48036-1)

19. Platt T., Gallegos C. L., Harrison W. G. Photoinhibition of photosynthesis in natural assemblages of marine phytoplankton. *Journal of Marine Research*. 1980;38:687–701.

20. Kacheyo O. C., Schneider H. M., de Vries M. E., Struik P. C. Shoot growth parameters of potato seedlings are determined by light and temperature conditions. *Potato Research*. 2024;67:1159–1186. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-023-09681-1>

21. Naqvi B., Abbas H., Ali H. Evaluation of *in vitro* tuber induction ability of two potato genotypes. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*. 2019;56:77–81.

22. Wilson D. A., Weigel R. C., Wheeler R. M., Sager J. C. Light spectral quality effects on the growth of potato (*Solanum tuberosum* L.) nodal cuttings *in vitro*. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 1993;29:5–8. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02632231>

23. Sita N. C., Iriawati, Kiriwa Y., Suzuki K. Intumescence: A Serious Physiological Disorder in Plants. *Reviews in Agricultural Science*. 2024;12:182–212. DOI: https://doi.org/10.7831/ras.12.0_182

24. Zheng Y., Zou J., Lin S., Jin C., Shi M., Yang B. et al. Effects of different light intensity on the growth of tomato seedlings in a plant factory. *PLoS ONE*. 2023;18(11):e0294876. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294876>

Сведения об авторах

✉ **Ступко Валентина Юрьевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории физиологии и биотехнологии, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», пр-кт Свободный, д. 66, г. Красноярск, Российская Федерация, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4430-2719>, e-mail: stupko@list.ru

Луговцова Светлана Юрьевна, старший научный сотрудник лаборатории физиологии и биотехнологии, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», пр-кт Свободный, д. 66, г. Красноярск, Российская Федерация, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4185-9455>

Помыткин Николай Сергеевич, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биотехнологии, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», пр-кт Свободный, д. 66, г. Красноярск, Российская Федерация, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8977-6523>

Кукушкина Кристина Владимировна, младший научный сотрудник лаборатории физиологии и биотехнологии, Красноярский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – обособленное подразделение ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», пр-кт Свободный, д. 66, г. Красноярск, Российская Федерация, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8915-912X>

Черемисин Александр Иванович, кандидат с.-х. наук, заведующий отделом картофеля, заведующий лабораторией семеноводства картофеля, ФГБНУ «Омский аграрный научный центр», пр-кт Королёва, д. 28, г. Омск, Российская Федерация, 644012, e-mail: biocentr@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8070-0661>

Information about the authors

✉ **Valentina Yu. Stupko**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Physiology and Biotechnology, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Svobodny prospect, 66, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4430-2719>, e-mail: stupko@list.ru

Svetlana Yu. Lugovtsova, senior researcher, the Laboratory of Physiology and Biotechnology, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Svobodny prospect, 66, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4185-9455>

Nikolay S. Pomytkin, junior researcher, the Laboratory of Physiology and Biotechnology, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Svobodny prospect, 66, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8977-6523>

Kristina V. Kukushkina, junior researcher, the Laboratory of Physiology and Biotechnology, Federal Research Center “Krasnoyarsk Science Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences”, Krasnoyarsk Research Institute of Agriculture, Svobodny prospect, 66, Krasnoyarsk, Russian Federation, 660041, e-mail: fic@ksc.krasn.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-8915-912X>

Alexander I. Cheremisin, PhD in Agricultural Science, Head of the Potato Department, Head of the Laboratory of Potato Seed Production, Federal State Budgetary Scientific Institution “Omsk Agricultural Scientific Center”, Korolev prospect, 26, Omsk, Russian Federation, 644012, e-mail: biocentr@bk.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8070-0661>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Оценка продуктивного потенциала гибридного материала картофеля в различных агроклиматических условиях Дагестана

© 2025. В. К. Сердеров, Б. М. Гусейнова✉

ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан»,
г. Махачкала, Республика Дагестан, Российская Федерация

Одним из перспективных направлений увеличения продуктивности картофелеводства является создание и внедрение в производство перспективных высокоурожайных сортов, адаптированных к местным экологическим условиям. Цель проведенных исследований – идентификация новых генотипов картофеля для создания на их основе сортов, максимально адаптированных к природно-климатическим условиям Дагестана. За период 2021–2024 гг. в различных природно-климатических зонах Дагестана, обусловленных вертикальной поясностью его территории (предгорье, горы и высокогорье), испытаны гибридные формы различного генетического происхождения, полученные из коллекции генофонда картофеля ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха». На основе оценки селекционного материала по признаку «урожайность» при возделывании в различных природно-климатических условиях Дагестана отобраны 3 гибридные формы картофеля среднераннего срока созревания – 2021.2797/4, 2021.2812/5 и 2021.2855/5. Урожайность у этих гибридов была выше стандартного сорта Невский на 28,6–133,0 % в зависимости от места возделывания. Показатели средней урожайности по зонам выращивания у гибридных форм 2021.2797/4, 2021.2812/5 и 2021.2855/5 составили 48,9; 56,6 и 40,7 т/га соответственно. Содержание крахмала в клубнях – 14,5–16,5 %, вкус – 4,2–4,7 балла, лежкость – 94,6–95,7 %. Выявленные перспективные гибридные формы, отличающиеся высокой продуктивностью за годы исследований, будут использованы для создания новых сортов картофеля, высокоадаптированных к агроклиматическим условиям горного и предгорного Дагестана.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., селекция, гибриды, одноклубневки, горная провинция, урожайность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (тема № FNMN-2022-0009, № госрегистрации 122022400196-7).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Сердеров В. К., Гусейнова Б. М. Оценка продуктивного потенциала гибридного материала картофеля в различных агроклиматических условиях Дагестана. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1038–1049. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1038-1049>

Поступила: 25.02.2025

Принята к публикации: 07.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Assessment of the productive potential of the hybrid potato material in different agroclimatic conditions of Dagestan

© 2025. Valerik K. Serderov, Batuch M. Guseynova✉

Dagestan Agriculture Science Center, Makhachkala, Republic of Dagestan,
Russian Federation

One of the promising directions for increasing the productivity of potato growing is the creation and implementation of promising high-yielding cultivars adapted to local environmental conditions. The purpose of the research is to identify new potato genotypes to create cultivars that are maximally adapted to the natural and climatic conditions of Dagestan. For the period of 2021–2024 in various natural and climatic zones of Dagestan, due to the vertical zonation of its territory (foothills, mountains and highlands), hybrid forms of various genetic origin, obtained from the collection of the potato gene pool of the Federal State Budgetary Scientific Institution "Federal Potato Research Center named after A.G. Lorkh" have been tested. Based on the assessment of the breeding material according to the "yield" trait when cultivated in various natural and climatic conditions of Dagestan, there have been selected 3 hybrid forms of potato of the middle-early ripening period – 2021.2797/4, 2021.2812/5 and 2021.2855/5. The yield of these hybrids was 28.6–133.0 % higher than that of the standard 'Nevsky' cultivar, depending on the place of cultivation. The average yield indicators for cultivation zones in hybrid forms 2021.2797/4, 2021.2812/5 and 2021.2855/5 were 48.9; 56.6 and 40.7 t/ha, respectively. The content of starch in tubers was 14.5–16.5 %, the taste – 4.2–4.7 points, the storability – 94.6–95.7 %. The identified promising hybrid forms, distinguished by high productivity over the years of the research, will be used to create new potato cultivars highly adapted to the agroclimatic conditions of mountainous and foothill Dagestan.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., breeding, hybrids, single-tubers, mountain province, yield

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 Dagestan Agriculture Science Center (theme No. FNMN-2022-0009, Reg. No. 122022400196-7).

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: Serderov V. K., Guseynova B. M. Assessment of the productive potential of the hybrid potato material in different agroclimatic conditions of Dagestan. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(5):1038–1049. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1038-1049>

Received: 25.02.2025

Accepted for publication: 07.10.2025

Published online: 31.10.2025

Картофель (*Solanum tuberosum* L.) – один из основных продуктов массового потребления населением, который по универсальности использования в народном хозяйстве занимает ведущее место среди сельскохозяйственных культур [1, 2]. Предполагается, что мировое производство картофеля в 2025 году достигнет 388 млн тонн¹.

Картофель – ценнейший пищевой продукт, отличающийся прекрасными вкусовыми свойствами, хорошими товарно-технологическими и кулинарными показателями качества, достаточно высоким запасом витаминов, минеральных и других пищевых веществ. Он также является ценным кормом в животноводстве и сырьем для пищевой перерабатывающей промышленности [3, 4].

В Российской Федерации картофелеводство – ведущая отрасль агропромышленного комплекса, прогресс которой является одним из основных направлений Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия².

Концепция долгосрочного социально-экономического развития РФ на период до 2030 года³ предусматривает обеспечение потребности населения страны сельхозпродукцией и продовольствием российского производства, а также повышение конкурентоспособности продукции аграрного сектора, эффективное импортозамещение и развитие экспортного потенциала. Согласно Доктрине продовольственной безопасности РФ, уровень самообеспеченности населения страны продовольственным картофелем, а картофелеперерабаты-

вающих предприятий новыми отечественными сортами, пригодными для промышленной переработки, должен составлять не менее 95 % [2, 5].

По данным территориального органа федеральной службы государственной статистики Республики Дагестан⁴ за 2023 год, общая площадь возделывания картофеля на территории республики составила 19,0 тыс. га, валовой сбор – 356,0 тыс. тонн и средняя урожайность – 18,7 т/га. При этом следует отметить, что основные производственные площади картофеля сосредоточены в горной провинции Дагестана, где производится более 44 % от валового сбора, а на долю равнинной и предгорной провинций приходится соответственно 19 и 37 %.

В условиях санкционной политики недружественных стран по отношению к России, открытой научно-технической конкуренции и климатических вызовов, большой вклад в повышение рентабельности отрасли картофелеводства могут внести исследования ученых, направленные на создание и внедрение в производство новых конкурентоспособных сортов картофеля различных групп спелости с широким спектром целевого назначения, превосходящих по хозяйственно-биологическим признакам существующий сортимент, отличающихся высоким адаптивным потенциалом и устойчивостью к стрессовым факторам среды возделывания.

Вклад сорта в увеличение продуктивности и улучшение качества урожая сельскохозяйственных культур может достигать 50–80 %, поэтому роль селекционного улучшения растений будет непрерывно возрастать [6].

¹Глобальный рынок картофеля: Обзор ситуации и прогноз на 2025-2030 годы. Картофельная система. [Электронный ресурс]. URL: <https://potatosystem.ru/globalnyj-rynok-kartofelya-obzor-situaczii-i-prognoz-na-2025-2030-gody/?ysclid=mgcsdnobs6608840037> (дата обращения: 06.10.2025 г.).

²Государственная программа развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия. Утверждена постановлением Правительства Российской Федерации от 14 июля 2012 г. № 717 (в редакции постановления Правительства Российской Федерации от 18 марта 2021 г. № 415). [Электронный ресурс]. URL: <http://government.ru/rugovclassifier/815/events/> (дата обращения: 24.03.2025 г.).

³Прогноз долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года. [Электронный ресурс].

URL: <http://static.government.ru/media/files/41d457592e04b76338b7.pdf> (дата обращения: 16.04.2025 г.).

⁴Макроэкономика. Территориальный орган федеральной службы государственной статистики Республики Дагестан. [Электронный ресурс].

URL: <https://05.rosstat.gov.ru/makroek1?ysclid=m6orz7ppvi724154260> (дата обращения: 10.05.2025 г.).

Кроме того, в настоящее время приходится принимать во внимание и стрессовые природные факторы, обусловленные происходящими глобальными климатическими изменениями [7]. По прогнозам ученых, в перспективе вероятно повышение средней температуры воздуха на 1,5–2,7 °C [8], что может привести к сдвигу годового ритма развития и нарушению продукционного процесса картофеля [9, 10].

Главной задачей современных селекционных программ по картофелю остается создание новых сортов, устойчивых к поражению вредителями и болезнями, отличающихся стабильно высокой урожайностью и широким диапазоном адаптивных способностей к конкретным условиям места произрастания [11, 12, 13].

На территории России одним из главных центров, реализующих селекционные программы по картофелю, в которых также принимают участие многие учреждения Министерства науки и образования Российской Федерации, является ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха».

Для организации селекции картофеля в Дагестане имеются хорошие перспективы, в том числе благоприятные природно-климатические условия, связанные с вертикальной зональностью территории. Но используемый в настоящее время промышленный сортимент картофеля, представленный в основном интродуцированными сортами, необходимо дополнить сортами местной дагестанской селекции.

В ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан» (ФГБНУ «ФАНЦ РД») проводится комплексное испытание нового гибридного материала картофеля, полученного в ходе реализации селекционных программ ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» и переданного для изучения в различных природно-климатических условиях Дагестана с целью создания новых сортов, сочетающих высокую продуктивность с качеством и адаптивностью к условиям зоны возделывания. Важное значение придается проведению испытаний в условиях высокогорного Дагестана (более 2000 м над уровнем мирового океана), характеризующегося наиболее чистыми фитосанитарными условиями местности.

Цель исследований – идентификация перспективных генотипов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) для создания на их основе новых сортов, максимально адаптированных к агроклиматическим условиям Дагестана.

Научная новизна – впервые проведено испытание 1012 генотипов картофеля различного генетического происхождения в условиях предгорной, горной и высокогорной зон Дагестана для выделения среди них наиболее перспективных гибридных форм, отличающихся высокой продуктивностью и хорошей адаптивностью к агроклиматическим условиям места возделывания, что важно для оптимизации промышленного сортимента картофеля на территории Дагестана.

Материал и методы Объектом исследований служил гибридный материал картофеля, переданный в ФГБНУ «ФАНЦ РД» из отдела экспериментального генофонда картофеля ФГБНУ «ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха» для комплексного агробиологического изучения в условиях Дагестана.

Полевые испытания проводили в период 2021–2024 гг. в различных природно-климатических условиях республики, связанных с вертикальной зональностью её территории: предгорной (г. Буйнакс, экспериментальные участки Дагестанской селекционной опытной станции плодовых культур (ДСОСПК); горной (Гунибский район, опытные участки Горного ботанического сада ДФИЦ РАН) и высокогорной (Курахский район, опорный пункт «Курахский» ФГБНУ «ФАНЦ РД») зонах Дагестана.

Гибридные формы картофеля исследовали в питомниках первого (питомник одноклубневок), второго (питомник гибридов II года), третьего (питомник предварительного испытания) и четвертого (питомник основного испытания) клубневых поколений, находящихся на территории высокогорного Дагестана (опытный участок опорного пункта «Курахский» ФГБНУ «ФАНЦ РД», расположен на высоте 2000–2200 м над уровнем мирового океана, характеризуется наиболее благоприятными фитосанитарными условиями). Изучение гибридов картофеля четвертого клубневого поколения также проводили в питомниках основного испытания в горной и предгорной зонах, на опытных участках Горного ботанического сада ДФИЦ РАН и Дагестанской селекционной опытной станции плодовых культур.

Исследовательскую работу с гибридным материалом проводили согласно методическим указаниям по технологии селекционного процесса картофеля⁵.

⁵Симаков Е. А., Складорова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М: ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2006. 70 с.

В качестве контрольных сортов выбраны Невский и Жуковский ранний, которые районированы и продолжительное время возделываются в условиях равнинной, предгорной и горной провинций Дагестана. Эти сорта хорошо адаптированы к условиям республики, устойчивы к болезням и вредителям, отличаются высокой продуктивностью.

Посадку гибридов картофеля первого и второго клубневых поколений проводили по схеме 70×40 см, третьего и четвертого – 70×30 см. Предшественник – овёс. Предпосадочная обработка почвы включала вспашку осенью, покровное боронование и глубокую культивацию весной. На опытных участках применяли гребневую технологию возделывания картофеля. В ходе вегетации выполняли две междурядные обработки с окучиванием. Во время вегетации влажность почвы на опытных участках поддерживали на уровне 70–75 % от НВ поливами по бороздам в течение вегетационного периода. Посадку (3-я декада апреля) и уборку (1, 2-я декады сентября) осуществляли вручную.

Почвенно-климатические условия на территории опытного участка опорного пункта «Курхский» ФГБНУ «ФАНЦ РД» (высоко-

горная зона Дагестана). Климат влажный континентальный с теплым летом. Среднегодовая температура воздуха за годы исследования составила 6,7–7,8 °С, годовое количество осадков – 616–796 мм, сумма активных температур (САТ) – 3160–3380 °С, гидротермический коэффициент по Г. Т. Селянинову⁶ (ГТК) варьировал от 1,94 до 2,35.

Погодные условия вегетационных периодов (рис. 1, 2) характеризовались в 2021–2022 гг. благоприятными условиями для возделывания картофеля, в 2023–2024 гг. – низкой температурой воздуха в ночные часы и значительными атмосферными осадками во время появления всходов и в период фазы цветения, что способствовало незначительному снижению качественных и количественных показателей урожайности исследуемых гибридных популяций картофеля.

Почвенный покров представлен горными каштановыми среднесуглинистыми почвами с содержанием гумуса 3,52–4,50 %, щелочной реакцией почвенной среды – 7,8 ед. рН. Обеспеченность почв гидролизующим азотом, обменным калием и подвижным фосфором составила 78–85; 225–342 и 48–52 мг/кг почвы соответственно.

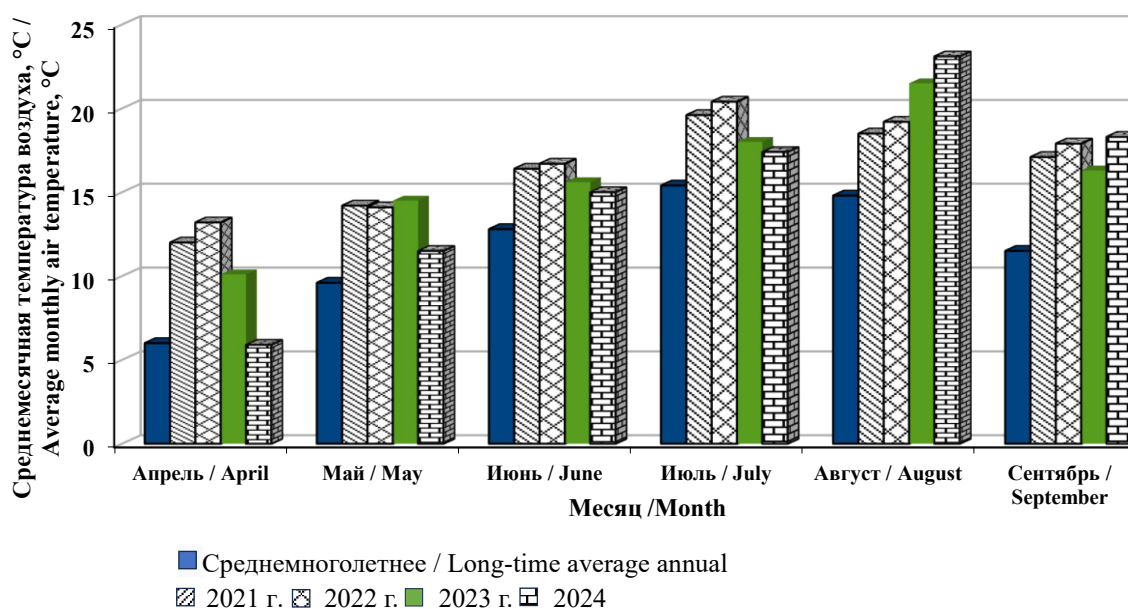


Рис. 1. Среднемесячная температура воздуха во время вегетации картофеля в высокогорной провинции Дагестана (2021–2024 гг.) /

Fig. 1. Average monthly air temperature during potato vegetation in the highland province of Dagestan (2021–2024)

⁶Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

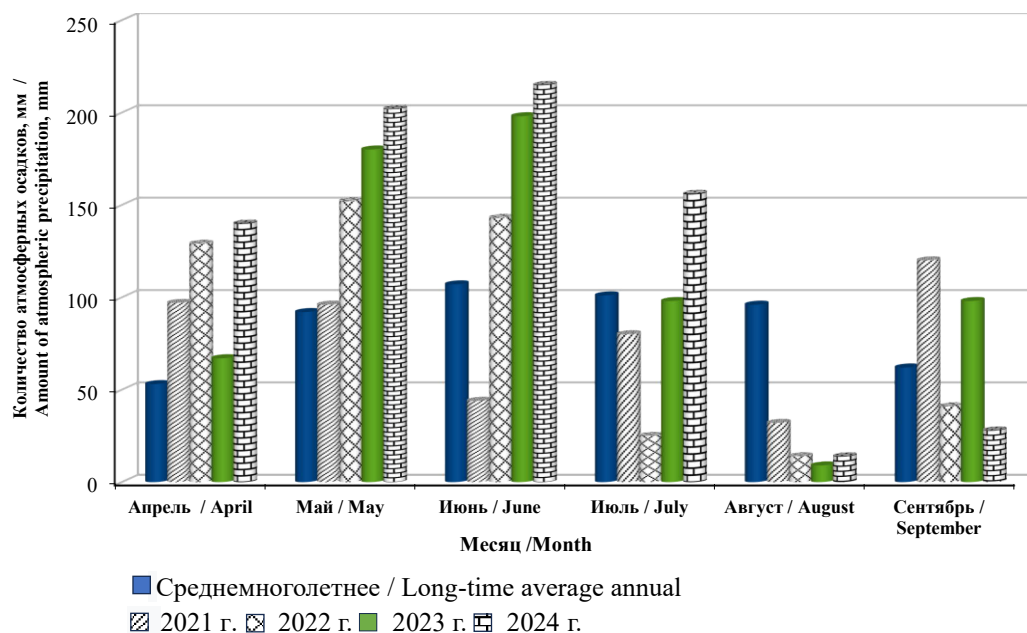


Рис. 2. Количество атмосферных осадков, выпавших за вегетационный период картофеля (2021–2024 гг.) в высокогорной провинции Дагестана /

Fig. 2. The amount of atmospheric precipitation during the growing season of potato (2021–2024) in the highland province of Dagestan

Почвенно-климатические условия на территории опытного участка Горного ботанического сада ДФИЦ РА (горная зона Дагестана). Климат континентальный засушливый с резкими перепадами не только сезонных, но и дневных температур. По данным гидрометеостанции «Гуниб», среднегодовая температура воздуха за годы исследования 2021–2024 гг. составила 8,9–9,8 °С, годовое количество осадков – 470–639 мм, САТ – 3178–3260 °С. Значения ГТК варьировали в пределах 1,48–1,96. По данным авторов работы [11], оптимальные для вегетации картофеля значения ГТК находятся в пределах 1,0–2,0.

Почва опытного участка среднесуглинистая слоистого строения, карбонатная, отличающаяся достаточным плодородием. Гумуса в ней содержится 2,5–3,1 %. Почвенно-поглощающий комплекс обеспечен подвижным фосфором на уровне 43–51 мг/кг почвы. Отмечено относительно низкое содержание обменного калия – 107–173 мг/кг почвы. Гидролизуемым азотом почва обеспечена средне – 49–68 мг/кг почвы.

Почвенно-климатические условия на территории опытного участка Дагестанской селекционной опытной станции плодовых культур (предгорная зона Дагестана). Климат

умеренно-континентальный. По данным гидрометеостанции г. Буйнакса, самым тёплым месяцем в годы проведения исследований был август со среднемесячной температурой 23,9–26,4 °С, наиболее холодным – январь – 0,1–1,9 °С. Среднегодовая температура варьировала в пределах 12,2–12,8 °С. По количеству осадков территория, на которой проводили исследования, относится к зоне недостаточного увлажнения – 235–343 мм за вегетационный период. САТ в годы исследований изменялась в пределах – 3427 °С, ГТК – 0,69–1,03.

Почва опытного участка темно-каштановая карбонатная среднесуглинистая. Почвенно-поглощающий комплекс насыщен кальцием и магнием – 156–184 и 51–64 мг-экв/100 г почвы соответственно. Содержание гумуса составляет 1,97–3,56 %, гидролизуемого азота – 61–73 мг/кг почвы, подвижного фосфора и калия 180–223 и 252–284 мг/кг почвы соответственно [14].

Агрохимическую оценку почвенных образцов, взятых из опытных участков, проводили с использованием общепринятых методов анализа: содержание гумуса – ГОСТ 26213-20217; поглощенных оснований кальция и магния – ГОСТ 26428-858; гидролизуемого азота – методом Корнфилда; подвижных форм

⁷Селянинов Г. Т. Указ. соч.

⁸ГОСТ 26428-85. Почвы. Методы определения кальция и магния в водной вытяжке. М., 1985. 8 с.

URL: <https://meganorm.ru/Index/12/12639.htm?ysclid=mgetgt69z406285077>

фосфора и калия – методом Мачигина (ГОСТ 26205-919).

Содержание крахмала в клубнях гибридных форм картофеля определяли в трехкратной повторности весовым методом¹⁰. Лежкоспособность клубней устанавливали на основании анализа учетных образцов массой 5 кг, заложенных осенью в сетки для хранения в контейнерах. Повторность закладки каждого гибрида – 4-кратная. Клубни содержали в углубленном хранилище с приточно-вытяжной системой вентиляции при температуре 2–4 °С и относительной влажности воздуха 85–90 %. Срок хранения – 7 месяцев. Количественные потери определяли по показателям выхода полноценных клубней и потерь после хранения. Вкусовые качества картофеля оценивали по пятибалльной шкале: 5 баллов – картофель очень хороший (очень вкусный); 4 – хороший (вкусный); 3 – вполне удовлетворительный (средневкусный); 2-1 – плохой (невкусный); 0 – очень плохой (очень невкусный)¹¹. Для оценки вкуса пять средних по размеру клубней каждой гибридной формы картофеля варили в 2%-м солевом растворе до полной готовности. Каждому дегустатору давали теплые, очищенные от кожуры клубни. Дегустацию проводили вслепую. Каждому образцу присваивали номер.

Статистическую обработку результатов исследований осуществляли методами дисперсионного анализа с использованием пакета программ SPSS 12.0 для Windows.

Результаты и их обсуждение. Основными показателями, отвечающими за результат взаимодействия генотипа со средой, являются его продуктивность и урожайность, которые были приняты в качестве главных критериев при оценке степени адаптивности изучаемых гибридных форм картофеля к природно-климатическим условиям Дагестана.

Показатели продуктивности гибридных форм картофеля первого клубневого поколения, отобранных в качестве лучших по результатам комплексного агробиологического изучения на опытном участке опорного пункта «Курахский», представлены в таблице 1.

В результате проведенных исследований в 2021 году отобрана 81 гибридная форма картофеля с высокими показателями продуктив-

ности. В таблице 1 приведены данные самых лучших из них – 24 гибрида. У выделенных гибридных форм масса клубней с одного куста варьировала в пределах 1240–2070 г, количество клубней с одного куста – от 12 до 18 шт.

При селекционной работе с картофелем в ходе браковки в питомнике первого клубневого поколения уделяют особое внимание одному из качественных показателей – процентному соотношению количества отобранных гибридных форм, который в наших исследованиях варьировал в пределах 4,7–13,3 %.

По визуальным наблюдениям, в ходе вегетации на посадках гибридов картофеля первого клубневого поколения не наблюдали пораженности болезнями, что, на наш взгляд, объяснялось достаточно хорошей чистотой территории горного Дагестана от фитопатогенов [15].

В 2022 г. для дальнейшего испытания наиболее перспективных гибридных форм, отобранных в 2021 г., был заложен питомник гибридов картофеля второго клубневого поколения. Гибриды картофеля высаживали в отдельные ряды по 10 клубней с включением для сравнения рядов с контрольными районированными сортами Жуковский ранний и Невский.

Как показали результаты исследований (табл. 2), масса клубней с одного куста у гибридов картофеля второго клубневого поколения, по сравнению с контрольными сортами Жуковский ранний и Невский, была выше и варьировала в пределах 980–1490 г. Все гибридные формы по этому показателю превосходили сорт-стандарт Жуковский ранний на 95,7 % (№ 2021.2855/2) – 204,1 % (№ 2021.2812/5), сорт-стандарт Невский – на 74,4 % (№ 2855/2) – 186,5 % (№ 2021.2812/5).

Из гибридных форм картофеля, отобранных по результатам испытаний в питомнике второго клубневого поколения, в 2023 г. был заложен питомник гибридов третьего клубневого поколения в условиях высокогорного Дагестана. Данные по продуктивности и урожайности гибридных форм третьего клубневого поколения приведены в таблице 3 в сравнении с контрольным сортом Невский, поскольку многие исследованные гибриды по результатам фенологических наблюдений отнесены к группе сортов среднераннего срока созревания.

⁹ГОСТ 26205-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1992. 10 с.

URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/10373?ysclid=mgctofgu5o416589904>

¹⁰Методические указания по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению. М.: ВНИИКС им. А. Г. Лорха Россельхозакадемии, 2008. 39 с.

¹¹Там же.

Таблица 1 – Гибриды картофеля, выделившиеся по показателям продуктивности в питомнике одноклубневок (высокогорная зона, опытный участок опорного пункта «Курахский», 2021 г.) /
Table 1 – Potato hybrids distinguished by productivity indicators in the nursery of single-tubers (alpine zone, Kurakhsky test site, 2021)

Номер гибридной популяции / Hybrid population number	Количество гибридов, шт. / Number of hybrids, pcs.		Процент отбора, % / Sampling percentage, %	Количество лучших гибридов из отобранных, шт. / Number of the best hybrids selected, pcs.	Селекционный номер / Breeding number	Количество клубней с одного куста, шт. / Number of tubers per plant, pcs.	Масса клубней с одного куста, г / Mass of tubers per plant, g
	в популяции / in the population	отобранных / selected					
2793	160	13	8,1	5	2021.2793/4	14	2050
					2021.2793/5	14	1650
					2021.2793/7	13	1470
					2021.2793/11	16	1950
					2021.2793/12	14	1760
2797	106	10	9,4	3	2021.2797/4	16	2040
					2021.2797/5	15	1870
					2021.2797/6	16	1780
2812	130	9	6,9	3	2021.2812/4	14	1470
					2021.2812/5	16	2000
					2021.2812/6	16	1910
2820	90	8	8,9	1	2021.2820/5	12	1270
2827	120	9	7,5	2	2021.2827/8	14	1290
					2021.2827/9	14	1310
2830	170	8	4,7	1	2021.2830/2	12	1270
2850	131	10	7,6	1	2021.2850/4	14	1240
2855	105	14	13,3	8	2021.2855/1	17	2070
					2021.2855/2	16	1780
					2021.2855/4	18	2020
					2021.2855/5	16	1960
					2021.2855/9	14	1610
					2021.2855/10	14	1660
					2021.2855/11	14	1600
					2021.2855/12	14	1560
Всего / In total	1012	81	8,0	24	-	-	-

По урожайности все гибриды третьего клубневого поколения статистически значимо превысили сорт-стандарт Невский – на 6,7 т/га (№ 2021.2850/4)–12,4 т/га (№ 2021.2797/4).

После уборки урожая осенью 2023 г. из 10 гибридных форм картофеля, испытанных

в питомнике третьего клубневого поколения, для продолжения исследований в 2024 г. в питомнике основного испытания отобрали 7 наиболее перспективных для изучения в различных природно-климатических условиях Дагестана.

Таблица 2 – Показатели продуктивности отобранных гибридных форм картофеля питомника второго года (высокогорная зона, опытный участок опорного пункта «Курахский», 2022 г.) /

Table 2 – Productivity indicators for selected hybrid forms of potatoes from the second-year nursery (alpine zone, Kurakhsky test site, 2022)

<i>Номер гибридной формы / Hybrid form number</i>	<i>Среднее количество клубней с куста, шт. / Average number of tubers per plant, pcs.</i>	<i>Средняя масса клубней с куста, г / Average mass of tubers per plant, g</i>
2021.2793/4	13,2	1436
2021.2793/11	13,4	1205
2021.2797/4	12,8	1350
2021.2812/5	14,0	1490
2021.2820/5	14,0	1105
2021.2827/8	14,0	1120
2021.2827/9	13,4	989
2021.2830/2	12,0	1130
2021.2850/4	13,0	965
2021.2855/1	14,5	1306
2021.2855/2	13,4	959
2021.2855/4	14,3	1070
2021.2855/5	14,5	1105
Жуковский ранний (контроль) / ‘Zhukovskij rannij’ (control)	8,8	490
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,1	137
Невский (контроль) / ‘Nevsky’ (control)	9,0	520
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,0	133

Таблица 3 – Показатели продуктивности и урожайности гибридных форм картофеля питомника третьего клубневого поколения (высокогорная зона, опытный участок опорного пункта «Курахский», 2023 г.) /

Table 3 – Productivity and yield indicators of hybrid forms of potatoes from the third tuber generation nursery (alpine zone, Kurakhsky test site, 2023)

<i>Номер гибридной формы / Hybrid form number</i>	<i>Среднее количество клубней с куста, шт. / Average number of tubers per plant, pcs.</i>	<i>Средняя масса клубней с куста, г/куст / Average tuber weight per plant, g/plant</i>	<i>Средняя урожайность, т/га / Average yield, t/ha</i>
2021.2793/4	13,1	800	37,6
2021.2793/11	12,0	780	36,7
2021.2797/4	14,4	840	39,5
2021.2812/5	12,5	800	37,6
2021.2820/5	12,7	730	34,3
2021.2827/9	12,0	750	35,3
2021.2830/2	12,5	755	35,5
2021.2850/4	12,5	720	33,8
2021.2855/1	12,5	800	37,6
2021.2855/5	12,9	830	39,0
Невский (контроль) / ‘Nevsky’ (control)	9,5	575	27,1
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	1,8	-	5,1

Показатели урожайности перспективных гибридных форм картофеля четвертого клубневого поколения, параллельно исследованных

в горной, предгорной и высокогорной провинциях Дагестана, приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Урожайность гибридных форм картофеля при возделывании в питомниках основного испытания, расположенных в различных природно-климатических зонах Дагестана (2024 г.) /
Table 4 – Yield of hybrid forms of potatoes when cultivated in nurseries of the main test located in various natural and climatic zones of Dagestan (2024)

Номер гибридной формы / Hybrid form number	Горная зона (опытные участки Горного ботанического сада ДФИЦ РАН) / Mountain zone (test sites of the Mountain Botanical Garden of the Dagestan Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences)		Предгорная зона (опытные участки ДСОСПК) / Foothill zone (experimental sites of the Dagestan breeding experimental station of fruit crops)		Высокогорная зона (опытные участки опорного пункта «Курахский») / Alpine zone (Kurakhsky test site)	
	m/га / t/ha	% по отношению к контролю / % to the control	m/га / t/ha	% по отношению к контролю / % to the control	m/га / t/ha	% по отношению к контролю / % to the control
2021.2793/4	45,1	117,1	25,4	141,9	27,3	123,5
2021.2797/4	68,6	178,2	32,0	178,8	46,3	209,5
2021.2812/5	77,9	202,3	41,7	233,0	50,1	226,7
2021.2827/9	44,4	115,3	26,9	150,3	31,9	144,3
2021.2830/2	41,1	106,8	21,8	121,8	26,7	120,8
2021.2855/1	45,1	117,1	22,4	125,1	27,1	122,6
2021.2855/5	49,5	128,6	31,4	175,4	41,2	186,4
Невский (контроль) / ‘Nevsky’ (control)	38,5	100,0	17,9	100,0	22,1	100,0
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	5,6	-	4,1	-	4,7	-

По результатам испытаний выделены три гибридные формы – 2021.2855/5; 2021.2797/4 и 2021.2812/5, урожайность которых при возделывании в экологических условиях предгорного, горного и высокогорного Дагестана существенно превысила контрольный сорт Невский на 75,4–133,0 %, 28,6–102,3 и 86,4–126,7 % соответственно. По остальным гибридным формам, за исключением № 021.2830/2, также получены статистически значимые прибавки урожайности, превышающие сорт-стандарт на 6,8–50,3 % в зависимости от почвенно-климатических условий и высотного градиента места их возделывания. Наибольшую способность к реализации продуктивного потенциала гибриды картофеля проявили в условиях горной провинции Дагестана (территория Горного ботанического сада ДФИЦ РАН).

Трем перспективным гибридным формам картофеля (2021.2855/5, 2021.2797/4 и 2021.2812/5), отличившимся высокой продуктивностью и намеченным к представлению на государственное сортоиспытание, были даны подробные характеристики по показателям:

группа спелости; массовая концентрация крахмала; лежкость при хранении; вкусовые свойства; окраска кожуры и мякоти. В таблице 5 приведены усредненные значения этих показателей у гибридных форм, выращенных в различных зонах испытания. По сроку созревания все три гибрида были отнесены в группу сортов среднераннего срока созревания. Гибридная форма 2021.2855/5 отличилась самым высоким содержанием крахмала в клубнях – 16,5 %, наилучшим их вкусом – 4,7 балла и лежкостью при хранении – 95,7 %.

Известно, что особое внимание в селекции картофеля необходимо обращать на повышение устойчивости вновь создаваемых сортов к наиболее опасным патогенам, особенно распространенным в южных регионах России, где климатические условия более благоприятны для их развития.

Визуальное обследование посадок гибридных форм картофеля в фазе «цветение» показало, что все опытные образцы первого, второго, третьего и четвертого клубневых поколений

не имели признаков поражения болезнями. Это объясняется благоприятными условиями среды возделывания и хорошей чистотой территории горного и высокогорного Дагестана

от фитопатогенов, где не развиваются многие переносчики болезней растений, в частности нет тли – основного распространителя вирусных заболеваний.

Таблица 5 – Характеристика выделенных перспективных гибридных форм картофеля (2024 г.) /
Table 5 – Characteristics of selected promising hybrid forms of potato (2024)

Номер гибридной формы / Hybrid form number	Срок созревания / Maturation period	Массовая концентрация крахмала, % / Mass concentration of starch, %	Лежкость при хранении, % / Storability, %	Вкусовые качества, балл / Taste, points	Окраска / Coloration	
					кожуры / skin	мякоти / pulp
2021.2797/4	Среднеранний / Mid-early	14,5±0,23	94,6±1,8	4,2±0,07	Красная / Red	Кремовая / Cream
2021.2812/5		16,0±0,27	95,1±2,2	4,3±0,10	Белая / White	Кремовая / Cream
2021.2855/5		16,5±0,34	95,7±1,9	4,7±0,09	Белая / White	Белая / White

Перед представлением гибридного материала картофеля на государственное сортоиспытание необходимо определить степень устойчивости его к вирусным и грибковым заболеваниям. С этой целью в дальнейшем планируется испытание выделенных нами гибридных форм в местностях, где часто встречаются вирусные и грибковые патогены, что позволит вынести окончательное решение об устойчивости перспективных гибридов к различным заболеваниям.

Закключение. По результатам исследований (2021–2024 гг.), из числа гибридных форм картофеля (1012 генотипов), полученных из генофонда ФГБНУ «ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха», выделены три перспективных гибрида под номерами 2021.2797/4, 2021.2812/5 и 2021.2855/5, отличившихся наибольшей

урожаем – выше стандартного сорта Невский на 28,6–133,0 % в зависимости от места возделывания. Показатели средней урожайности по зонам возделывания у наиболее перспективных гибридов 2021.2797/4, 2021.2812/5 и 2021.2855/5 составили 48,9; 56,6 и 40,7 т/га соответственно. Они были отнесены в группу среднераннего срока созревания, содержание крахмала клубнях составило 14,5–16,5 %, вкус оценен на 4,2–4,7 балла, значения показателя лежкости при хранении варьировали в пределах 94,6–95,7 %. В дальнейшем гибридные формы 2021.2797/4, 2021.2812/5 и 2021.2855/5 планируется использовать для создания новых сортов картофеля, адаптированных к предгорным и горным агроклиматическим условиям Республики Дагестан.

Список литературы

1. Ким И. В., Волков Д. И., Клыков А. Г. Особенности формирования продуктивности сортов картофеля в условиях муссонного климата. Российская сельскохозяйственная наука. 2021;(4):33–37. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262721040074> EDN: BGQKOI
2. Симаков Е. А., Анисимов Б. В., Жевора С. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин А. В., Гайзатулин А. С. Актуальные направления развития селекции и семеноводства картофеля в России. Картофель и овощи. 2020;(12):22–26. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005> EDN: BFAEUL
3. Сердеров В. К., Караев М. К., Сердерова Д. В. Перспективные сорта картофеля для промышленной переработки в Дагестане. Российская сельскохозяйственная наука. 2020;(3):18–21. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262720030059> EDN: IVMQAT
4. Григорьева Р. З., Просеков А. Ю., Жданов В. А., Куляка И. А. Роль картофеля в обеспечении населения пищевыми веществами. Достижения науки и техники АПК. 2006;(8):41–42. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10332930> EDN: ISCZZV
5. Журавлева Е. В., Фурсов С. В. Картофелеводство как одно из приоритетных направлений Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2025 годы. Картофель и овощи. 2018;(5):6–9. Режим доступа: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2019/06/5_2018.pdf

6. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы): монография в 2-х томах. М.: РУДН, 2001. 780 с.
7. Бондаренко Л. В., Маслова О. В., Белкина А. В., Сухарева К. В. Глобальное изменение климата и его последствия. Вестник Российского экономического университета им. Г. В. Плеханова. 2018;(2):84–93. DOI: <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93> EDN: YWMJMQ
8. Luedeling E. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*. 2012;144:218–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.011>
9. Gervais T., Creelman A., Li X.-Q., Bizimungu B., Koeyer D., Dahal K. Potato response to drought stress: Physiological and growth basis. *Frontiers in Plant Sciences*. 2021;12:698060. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.698060>
10. Розенцвет О. А., Богданова Е. С., Нестеров В. Н., Шевченко С. Н., Бакунов А. Л., Милехин А. В., Рубцов С. Л. Продуктивность и динамика морфологических и физиолого-биохимических параметров картофеля в условиях засушливого климата. Доклады Российской Академии наук. Науки о жизни. 2021;497:143–147. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2686738921020232> EDN: TKWMUD
11. Бакунов А. Л., Дмитриева Н. Н., Рубцов С. Л., Милехин А. В. Факторы, определяющие формирование урожайности картофеля в условиях недостаточного увлажнения. Российская сельскохозяйственная наука. 2023;(2):25–29. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262723020060> EDN: AOVQCA
12. Куликова В. И., Ходаева В. П., Лапшинов Н. А. Оценка различных способов оздоровления перспективных сортов и гибридов картофеля. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020;50(4):23–31. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-4-3> EDN: LOUSJP
13. Бирюкова В. А., Жарова В. А., Митюшкин А. В., Чалая Н. А., Рогозина Е. В., Козлов В. А., Шмыгля И. В. Характеристика сортов и гибридов картофеля по фертильности. Российская сельскохозяйственная наука. 2022;(2):30–36. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262722020065> EDN: GANATT
14. Гусейнова Б. М. Сравнительный анализ биохимического состава плодов местных селекционных и интродуцированных сортов вишни, выращиваемых в условиях предгорного Дагестана. Российская сельскохозяйственная наука. 2024;(3):29–35. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724030068> EDN: FVKRBK
15. Сердеров В. К. Влияние климатических условий высокогорья на устойчивость картофеля к вирусным болезням. Аграрная наука. 2019;(S3):73–75. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-73-75> EDN: JYULAX

References

1. Kim I. V., Volkov D. I., Klykov A. G. Features of the formation of productivity of potato varieties in the monsoon climate. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2021;(4):33–37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262721040074>
2. Simakov E. A., Anisimov B. V., Zhevara S. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin A. V., Gayzatulin A. S. Current trends in the development of potato breeding and seed production in Russia. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2020;(12):22–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2020.49.70.005>
3. Serderov V. K., Karaev M. K., Serderova D. V. Perspective potato varieties for industrial processing in Dagestan. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2020;(3):18–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262720030059>
4. Grigor'eva R. Z., Prosekov A. Yu., Zhdanov V. A., Kulyaka I. A. The role of potatoes in providing the population with food substances. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2006;(8):41–42. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10332930>
5. Zhuravleva E. V., Fursov S. V. Potato growing as one of the priority directions of the Federal scientific and technical program for the development of agriculture for 2017-2025. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2018;(5):6–9. (In Russ.). URL: http://potatoveg.ru/wp-content/uploads/2019/06/5_2018.pdf
6. Zhuchenko A. A. Adaptive plant breeding system (ecological and genetic foundations): monograph in 2 volumes. Moscow: RUDN, 2001. 780 p.
7. Bondarenko L. V., Maslova O. V., Belkina A. V., Sukhareva K. V. Global climate changing and its after-effects. *Vestnik Rossiyskogo ekonomicheskogo universiteta im. G. V. Plekhanova* = Vestnik of the Plekhanov Russian University of Economics. 2018;(2):84–93. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21686/2413-2829-2018-2-84-93>
8. Luedeling E. Climate change impacts on winter chill for temperate fruit and nut production: A review. *Scientia Horticulturae*. 2012;144:218–229. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.07.011>
9. Gervais T., Creelman A., Li X.-Q., Bizimungu B., Koeyer D., Dahal K. Potato response to drought stress: Physiological and growth basis. *Frontiers in Plant Sciences*. 2021;12:698060. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.698060>
10. Rozentsvet O. A., Bogdanova E. S., Nesterov V. N., Shevchenko S. N., Bakunov A. L., Milekhin A. V., Rubtsov S. L. Productivity and dynamics of morphological, physiological, and biochemical parameters of potatoes in arid climate. *Doklady Rossiyskoy Akademii nauk. Nauki o zhizni* = Doklady Biological Sciences. 2021;497:143–147. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2686738921020232>

11. Bakunov A. L., Dmitrieva N. N., Rubtsov S. L., Milekhin A. V. Factors determining the formation of potato yield under conditions of insufficient moisture. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2023;(2):25–29. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262723020060>
12. Kulikova V. I., Khodaeva V. P., Lapshinov N. A. Assessment of different ways of improving promising potato varieties and hybrids. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2020;50(4):23–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-4-3>
13. Biryukova V. A., Zharova V. A., Mityushkin A. V., Chalaya N. A., Rogozina E. V., Kozlov V. A., Shmyglya I. V. Characteristics of varieties and hybrids of potato on fertility. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2022;(2):30–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262722020065>
14. Guseynova B. M. Comparative analysis of biochemical composition of fruits of local selection and introduced cherry varieties grown in conditions of foothill Dagestan. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka* = Russian Agricultural Sciences. 2024;(3):29–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262724030068>
15. Serderov V. K. Influence of climatic terms of highland on stability of potato to virosiss. *Agrarnaya nauka*. 2019;(S3):73–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-73-75>

Сведения об авторах

Сердеров Валерик Каибханович, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела плодоовощеводства и переработки, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», ул. Абдуразака Шахбанова, д. 30, мкр. Научный городок, г. Махачкала, Республика Дагестан, Российская Федерация, 367014, e-mail: info@fancrd.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5768-324X>

✉ **Гусейнова Батуч Мухтаровна**, доктор с.-х. наук, доцент, главный научный сотрудник, зав. отделом плодоовощеводства и переработки, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан», ул. Абдуразака Шахбанова, д. 30, мкр. Научный городок, г. Махачкала, Республика Дагестан, Российская Федерация, 367014, e-mail: info@fancrd.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3104-5100>, e-mail: batuch@yandex.ru

Information about the authors

Valerik K. Serderov, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Fruit and Vegetable Production and Processing, Dagestan Agriculture Science Center, st. Abdurazak Shakhbanov, 30, Nauchny Gorodok, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation, 367014, e-mail: info@fancrd.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5768-324X>

✉ **Batuch M. Guseynova**, DSc in Agricultural Science, associate professor, chief researcher, Head of the Department of Fruit and Vegetable Production and Processing, Dagestan Agriculture Science Center, st. Abdurazak Shakhbanov, 30, Nauchny Gorodok, Makhachkala, Republic of Dagestan, Russian Federation, 367014, e-mail: info@fancrd.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3104-5100>, e-mail: batuch@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1050-1058>

УДК 633.111:631.95

Применение биопрепарата, микро- и макроминеральных удобрений в технологии возделывания сортов озимой мягкой пшеницы

© 2025. А. В. Ивенин✉, В. В. Ивенин, Л. К. Петров, С. М. Голубев

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», г. Нижний Новгород, Российская Федерация

Цель исследований – изучить влияние минеральных удобрений, биопрепарата Восток ЭМ-1 и микроудобрения Нанокремний на фитосанитарное состояние посевов и урожайность 7 сортов озимой мягкой пшеницы селекции ФГБНУ «ФИЦ «Немчиновка». Исследования проводили в условиях Нижегородской области на светло-серой лесной почве в 2022–2024 гг. Установлено, что в среднем за годы исследований степень поражения сортов озимой пшеницы снежной плесенью была значительной – 2,77 балла (от 1,8 до 3,8 балла по сортам); распространенность бурой ржавчины в среднем составила 23,3 % (от 13,1 до 33,1 %), септориоза – 69,0 % (от 55,3 до 88,2 %). Применение биопрепарата Восток ЭМ-1 при инокуляции семян, как и обработка растений озимой пшеницы в фазу кушения препаратами Восток ЭМ-1 и Нанокремний, не оказали статистически значимого влияния на распространенность бурой ржавчины и септориоза в посевах озимой пшеницы в годы исследований. Урожайность сортов озимой пшеницы изменялась в среднем за годы наблюдения от 5,04 т/га (сорт Немчиновская 17) до 6,91 т/га (сорт Московская 82). В засушливых условиях вегетации (май – июнь 2022–2024 гг.) внесение минеральных удобрений в дозах $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ и $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ привело к повышению урожайности сортов озимой пшеницы в среднем на 0,18 и 0,27 т/га, или 3,2–4,8 % соответственно по сравнению с вариантом без их применения. Внекорневая обработка растений озимой пшеницы в фазу кушения микроудобрением Нанокремний и биопрепаратом Восток ЭМ-1 увеличила среднесортовую урожайность соответственно на 0,21 т/га (3,9 %) и 0,55 т/га (10,1 %) по сравнению с контрольным вариантом без обработок.

Ключевые слова: Восток ЭМ-1, Нанокремний, минеральный фон, зерновая культура, урожайность, снежная плесень, мучнистая роса, бурая ржавчина, септориоз

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева» (Рег. № НИР в ЕГИСУ НИОКТР: 1024072200018-5-4.1.6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Ивенин А. В., Ивенин В. В., Петров Л. К., Голубев С. М. Применение биопрепарата, микро- и макроминеральных удобрений в технологии возделывания сортов озимой мягкой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1050–1058. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1050-1058>

Поступила: 24.03.2025

Принята к публикации: 03.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Use of biological product, micro- and macromineral fertilizers in the technology of cultivation of winter wheat cultivars

© 2025. Alexey V. Ivenin✉, Valentin V. Ivenin, Leonid K. Petrov, Sergey M. Golubev

Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

The aim of the of research is to study the effect of mineral fertilizers, Vostok EM-1 biopreparation and Nanosilicon microfertilizer on phytosanitary condition of crops and yield of 7 winter soft wheat cultivars bred by FRC “Nemchinovka”. The research was carried out in the Nizhny Novgorod region on light gray forest soil in 2022–2024. It was found that over the years of the research the degree of snow mold infection of winter wheat cultivars was significant and averaged 2.77 points (from 1.8 to 3.8 points over the cultivars); the prevalence of brown rust ranged from 13.1 to 33.1 %, and averaged 23.3 %; the spread of septoria infection varied from 55.3 to 88.2 % (on average, 69.0 %). The use of the Vostok EM-1 biopreparation during seed inoculation as well treatment of plants during the tillering phase of winter wheat with Vostok EM-1 and Nanosilicon preparations did not affect significantly the prevalence of brown rust and septoria in the crops of winter wheat during the years of the research. The yield of winter wheat cultivars varied on average over the years of experimental observation from 5.04 t/ha (‘Nemchinovskaya 17’ cultivar) to 6.91 t/ha (‘Moskovskaya 82’ cultivar). In arid conditions of vegetation (May–June 2022–2024) the application of mineral fertilizers in doses $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ and $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ increased the average yield of winter

wheat by 0.18 and 0.27 t/ha, respectively, compared with the variant without their use. Spraying wheat plants during the tillering phase with Nanosilicon microfertilizer and Vostok EM-1 biopreparation increased the average yield over the cultivars by 0.21 (3.9 %) and 0.55 (10.1 %) t/ha, respectively, compared with the control variant without treatments.

Keywords: Vostok EM-1, Nanosilicon, mineral background, grain crop, yield, snow mold, powdery mildew, brown rust, septoria

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 Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University (Reg. No. of Research in EGISU R&D: 1024072200018-5-4.1.6).

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

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

For citation: Ivenin A. V., Ivenin V. V., Petrov L. K., Golubev S. M. Use of biological product, micro- and macromineral fertilizers in the technology of cultivation of winter wheat cultivars. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1050–1058. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1050-1058>

Received: 24.03.2025

Accepted for publication: 03.10.2025

Published online: 31.10.2025

Высокий продуктивный потенциал и эффективность использования почвенно-климатических ресурсов обуславливают широкий ареал распространения озимой пшеницы. Площади посевов, ежегодно занимаемые данной культурой в РФ, составляют около 13 млн га, а валовые сборы превышают 40 млн т при средней урожайности за последние годы в пределах 2,9 т/га¹. При внедрении интенсивных технологий в передовых хозяйствах получают урожайность 5,0-6,0 т/га и более высококачественного зерна озимой пшеницы [1, 2, 3].

В Нижегородской области в последние годы озимая пшеница занимает около 55 % площадей зерновых культур, и ее сортимент до 50 % представлен сортом Московская 39, районированным еще в 1999 г. по Волго-Вятскому региону. Поэтому поиск новых современных сортов интенсивного типа, которые были бы наиболее адаптированы к условиям Нижегородской области, является актуальным вопросом [2].

Для максимальной реализации продуктивного потенциала новых сортов необходима разработка адаптированных к агроэкологическим условиям Нижегородской области технологий возделывания озимой пшеницы, которые должны базироваться на дифференцированном применении производственных ресурсов (минеральных макро- и микроудобрений, биопрепаратов, средств химической защиты растений и др.) [4, 5, 6].

Биологические системы земледелия, в которых допускается полная или частичная замена химических препаратов в системе защиты сельскохозяйственных культур на биологические, содержащие в своем составе живые штаммы полезных микроорганизмов, получают распространение в связи с их экологической, экономической и энергетической обоснован-

ностью. Современные реалии жизни способствуют переходу сельского хозяйства к органическому ЭМ-земледелию. Данная технология применяется в настоящее время более чем в 140 странах мира, включая США, Германию, Францию, Великобританию, Южную Корею, Италию, Испанию и др. [7, 8].

Таким образом, внедрение и адаптация новых сортов озимой пшеницы и передовых инновационных технологий ее возделывания, опирающихся на разработку современных систем применения микро- и макроудобрений, защиты растений с использованием биологических препаратов, являются приоритетной задачей аграрной науки [9, 10, 11].

Цель исследований – изучить влияние элементов технологии возделывания различных сортов озимой мягкой пшеницы (применение биопрепарата, микро- и макроминеральных удобрений) на фитосанитарное состояние посевов и сортовую урожайность в условиях Нижегородской области.

Научная новизна – впервые изучена эффективность препаратов Восток ЭМ-1 и Нанокремний при возделывании различных сортов озимой мягкой пшеницы на светло-серых лесных почвах Нижегородской области.

Материал и методы. Исследования проводили в 2022–2024 гг. на опытном поле Нижегородского НИИСХ – подразделения ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева».

Полевой опыт заложен на светло-серой лесной среднесуглинистой почве. На период закладки (2022 г.) почва имела следующую агрохимическую характеристику: обеспеченность пахотного слоя подвижными формами фосфора – очень высокая (252,0 мг/кг почвы),

¹Федеральная служба государственной статистики. Посевные площади Российской Федерации в 2024 году (весеннего учета). [Электронный ресурс]. URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/posev-4cx_2024.xlsx (дата обращения: 25.02.2025).

калия – высокая (221,0 мг/кг почвы) (по методу Кирсанова); содержание гумуса (по методу Тюрина) – очень низкое (1,43 %); реакция почвенной среды – слабокислая ($pH_{\text{сол}} - 5,1$). Предшественник озимой пшеницы – чистый пар.

Полевой опыт заложен по трехфакторной схеме:

Сорт (фактор А): 1) Московская 39 (стандарт); 2) Московская 40; 3) Московская 56; 4) Московская 82; 5) Немчиновская 17; 6) Немчиновская 57; 7) Немчиновская 85.

Фон минерального питания (фактор В): 1) без внесения минеральных удобрений; 2) $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$; 3) $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$.

Обработка препаратами (фактор С): 1) без обработки; 2) внекорневая подкормка растений в фазу кущения (весной) препаратом Нанокремний – 100 г/га; 3) инокуляция семян препаратом Восток ЭМ-1 – 100 мл/т; 4) внекорневая подкормка растений в фазу кущения (весной) препаратом Восток ЭМ-1 – 500 мл/га.

Минеральные удобрения вносили в два этапа: основное внесение – диаммофоска (10:26:26) в дозах $N_{10}P_{30}K_{30}$ и $N_{20}P_{60}K_{60}$ согласно схеме опыта под предпосевную культивацию АКШ-4,2 на глубину заделки семян (4–6 см) с осени; прикорневая подкормка весной аммиачной селитрой (34,4 %) в дозах N_{50} и N_{100} соответственно.

Норма высева сортов озимой пшеницы – 4,5 млн всхожих семян на гектар. Посевной материал во всех вариантах протравливали фунгицидом СтингерТрио (доза 0,5 л/т) и инсектицидом Имидор Про (доза 1 л/т). Инокуляцию семян препаратом Восток ЭМ-1 проводили за сутки до посева культуры, который осуществили 1 сентября в 2021 и 2022 гг. и 7 сентября в 2023 г. сеялкой ССФК-7. Общая площадь делянки составила 12,4 м², учетная – 11,0 м². Делянки в опыте располагались систематически со смещением. Повторность четырехкратная. Уход за посевами включал весеннюю подкормку аммиачной селитрой (34,4 %) в дозах, согласно схеме опыта (вручную поделаяночно: 2022 г. – 14 апреля; 2023 г. – 20 апреля; 2024 г. – 11 апреля) с последующей заделкой зубowymi боронами. Внекорневую подкормку изучаемыми препаратами провели: 2022 г. – 7 мая; 2023 г. – 15 мая; 2024 г. – 5 мая. Уборку

проводили поделаяночно прямым комбайнированием «Сампо 130» (2022 г. – 21 июля; 2023 г. – 28 июля; 2024 г. – 24 июля).

*Восток ЭМ-1*² – биологический препарат нового поколения. Это активная культура ЭМ (Эффективные Микроорганизмы), получаемая из ЭМ-концентрата ферментированием с патокой. Препарат не содержит химических, минеральных и синтетических добавок, поэтому безопасен для живых организмов и внесен в реестр производителей натуральной продукции. В состав препарата входит: вода питьевая, сахар-песок, патока, комплекс молочнокислых бактерий, дрожжей и продуктов их жизнедеятельности. В 1 см³ препарата содержится не менее $1 \cdot 10$ КОЕ молочнокислых бактерий и $1 \cdot 10$ КОЕ дрожжей. Эта животворящая микрофлора участвует своей биомассой в накоплении органического вещества в почве и играет огромную роль в образовании доступных форм питания растений. Под действием препарата быстро перерабатываются органические вещества, повышается всхожесть семян, улучшается корнеобразование, повышается иммунная система растений, ускоряется созревание.

*Нанокремний*³ – препарат содержит элементарные наночастицы кремния в биологически активной форме и микроэлементы в доступной форме (кремний 50 %; железо 6 %, медь 1 %, цинк 0,5 %). Применение препарата стимулирует ростовые процессы, ускоряет созревание, что связано с увеличением энергии для метаболических процессов и синтеза сахаров. Его накопление в проводящих сосудах повышает механическую прочность тканей, полевую всхожесть и энергию прорастания семян; стимулирует развитие корневой системы, рост и развитие растения; увеличивает морозоустойчивость и способствует быстрому восстановлению посевов после зимовки; повышает фотосинтетическую активность; препятствует полеганию растений; повышает устойчивость растений к физиологическим болезням и снимает стресс; повышает устойчивость растений к засухе, экстремально высоким температурам; способствует более полному усвоению элементов питания из почвы и удобрений; улучшает качество продукции и продлевает хранение.

²Восток-ЭМ1. ФГБУ Россельхозцентр: официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosselhocenter.ru/products/rastenievodstvo/vostok-em-1/?ysclid=mgaexi0gnw118227089> (дата обращения: 25.02.2025).

³Удобрение минеральное с микроэлементами «НаноКремний». ВНИИ Агрохимии имени Д.Н. Прянишникова: официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vniia-pr.ru/spravochniki/spisok-agro/udobrenie-mineralnoe-s-mikroelementami-nanokremniy/> (дата обращения: 10.03.2025).

Исследования проводили в соответствии с методикой государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур⁴.

Фитосанитарная экспертиза сортов озимой пшеницы (болезни растений) выполнена по общепринятой методике⁵ в фазу кущения культуры (при возобновлении вегетации растений весной). Исследовали растения на пораженность снежной плесенью (выборка составила 10 проб по 10 растений (общее количество исследуемых растений 100 – по четырем повторностям полевого опыта). Шкала интенсивности поражения снежной плесенью растений озимой пшеницы в баллах: 0 – здоровые растения; 1 – редкие пятна на нижних листьях (2-3 пятна) при общей пораженности до 10 % всех листьев; 2 – нижние листья поражены полностью, на верхних 2-3 пятна при общей пораженности до 50 %; 3 – поражены нижние и верхние листья при общей пораженности более 50 %, отмирают боковые побеги; 4 – все листья и побеги поражены на 100 %.

В фазу молочной спелости зерна проведена сравнительная фитопатологическая оценка⁶ изучаемых сортов на пораженность бурой ржавчиной, септориозом, мучнистой росой (выборка составила 20 проб по 5 растений, общее количество исследуемых растений 100 – по четырем повторностям полевого опыта).

Математическая обработка данных по годам исследования проведена методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову⁷ с использованием компьютерной программы Statist.

Данные по метеорологическим условиям за 2022–2024 гг. предоставлены метеостанцией «Ройка» Кстовского района. Погодные условия весенне-летнего периода вегетации в годы исследований в целом были благоприятными для роста и развития растений озимой пшеницы.

В 2022 г. за вегетационный период гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК) составил 1,5 при среднемноголетнем значении данного показателя 1,3, ГТК за июнь (0,8) был ниже средних многолетних значений (1,5).

В 2023 г. величина ГТК за вегетационный период составила 1,3 (на уровне среднего многолетнего показателя), гидротермические условия мая и июня были засушливыми (ГТК – 0,6 и 0,8 соответственно), июля (в период налива зерна) – избыточно увлажненными

(ГТК = 2,2), что позволило сформировать хороший урожай зерна.

Вегетационный период 2024 г. в целом характеризовался избыточным увлажнением (ГТК = 2,2, выше среднего многолетнего показателя). Однако гидротермические условия по месяцам были контрастными: в I декаде мая выпало много осадков при среднесуточной температуре воздуха 5,3 °С (что существенно ниже среднемноголетних значений); далее наблюдали длительный засушливый период – II и III декады мая, июнь (ГТК = 0,7 при среднемноголетнем значении 1,3), I и II декады июля (ГТК – 0,3 и 1,0 соответственно), III декада августа (ГТК = 0,2 при среднемноголетнем значении – 1,3); избыточным увлажнением характеризовались III декада июля (ГТК = 2,9 при среднемноголетнем значении 1,2), I и II декады августа с повышенными температурами (ГТК – 3,6 и 4,7 при среднемноголетних значениях 1,2 и 1,3 соответственно).

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований по пораженности растений озимой пшеницы болезнями в среднем за годы изучения представлены в таблице 1.

Учет перезимовки растений изучаемых сортов озимой пшеницы показал, что фоновые дозы минеральных удобрений ($N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ и $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$) в среднем за годы исследований способствовали снижению балла перезимовки на 1,0 и 0,9 соответственно до 7,6 и 7,7 по сравнению с вариантами без их внесения (табл. 1). Это обусловлено тем, что растения озимой пшеницы, посеянные в оптимальные сроки (1 и 7 сентября), под влиянием изучаемых доз минеральных удобрений хорошо раскустились и «переросли» в условиях продолжительной осени с повышенными температурами воздуха (2022–2024 гг.). Последующий теплый и снежный зимний период способствовал выпреванию растений и развитию патогенов.

Обработка семян озимой пшеницы биопрепаратом Восток ЭМ-1 в среднем за три года наблюдений не повлияла на перезимовку растений и степень их пораженности снежной плесенью по сравнению с вариантом без обработки семян: баллы перезимовки составили 7,7 и 7,6, степень пораженности снежной плесенью – 2,7 и 2,8 соответственно (табл. 1).

⁴Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1. Общая часть. М., 2019. 384 с.

⁵Фитосанитарная экспертиза зерновых культур (Болезни растений). Под ред. С. С. Санина. М., 2002. 138 с.

⁶Там же.

⁷Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М: Агропромиздат, 2011. 251 с.

Таблица 1 – Результаты перезимовки и пораженность болезнями озимой мягкой пшеницы в зависимости от сорта, применения минеральных удобрений и биопрепарата (в среднем по факторам за 2022–2024 гг.) /
Table 1 – The results of overwintering and disease infection of winter soft wheat depending on the use cultivar, of mineral fertilizers and biological preparation (on average of the factors for 2022–2024)

<i>Исследуемый фактор / Studied factor</i>	<i>Вариант опыта / Experience option</i>	<i>Степень поражения снежной плесенью, балл / Degree of snow mold infection, points</i>	<i>Уровень перезимовки, балл / Overwintering level, points</i>	<i>Распространение/ развитие, % / Spread/development, %</i>	
				<i>бурая ржавчина / brown rust</i>	<i>септориоз / septoria</i>
Сорт (фактор А) / Cultivar (factor A)	Московская 39 / 'Moskovskaya 39'	2,5	8,3	23,9/1,6	88,2/6,8
	Московская 40 / 'Moskovskaya 40'	2,7	8,2	21,6/0,4	65,8/5,0
	Московская 56 / 'Moskovskaya 56'	2,7	8,2	24,9/1,0	55,3/5,2
	Московская 82 / 'Moskovskaya 82'	1,8	9,1	22,5/1,5	64,1/4,0
	Немчиновская 17 / 'Nemchinovskaya 17'	3,8	5,1	13,1/0,5	70,1/4,4
	Немчиновская 57 / 'Nemchinovskaya 57'	3,1	7,3	33,1/3,6	62,4/3,8
	Немчиновская 85 / 'Nemchinovskaya 85'	2,8	7,4	24,2/1,2	76,8/4,7
Фон удобрений (фактор В) / Background of fertilizers (factor B)	Без удобрений / Without fertilizers	2,9	8,6	23,1/1,5	76,0/4,7
	N ₁₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₅₀ **	2,7	7,6	22,6/1,4	73,3/4,8
	N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₀₀ ***	2,6	7,7	22,8/1,3	68,2/4,7
Обработка препаратами (фактор С) / Treatment with preparations (factor C)	Без обработки / Without treatment	2,8	7,6	23,9/1,3	72,9/5,0
	Нанокремний / Nanosilicon***	2,9	7,7	25,7/1,1	77,4/4,9
	Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1*	2,7	7,7	23,6/1,2	75,2/4,9
	Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1***	2,7	7,6	23,0/1,0	74,8/4,8

Примечания: *инокуляция семян; ** прикорневая подкормка в фазу кущения (весной); *** внекорневая подкормка в фазу кущения (весной) /

Notes: * inoculation of seeds; ** basal top dressing during the tillering phase (in spring); *** foliar top dressing in the tillering phase (in spring)

В фазу кущения проводили обследование озимой пшеницы на устойчивость к болезням выпревания, в нашем случае снежной плесени (при возобновлении вегетации весной). В целом степень поражения снежной плесенью растений озимой пшеницы за три года исследований была значительной и в среднем по сортам составила 2,77 балла. Наибольшее поражение болезнью отмечено у растений сортов Немчиновская 17 и Немчиновская 57 – 3,8 и 3,1 балла соответственно. Сорт Московская 82 в среднем за три года наблюдений отмечен лучшим по перезимовке со слабой степенью поражения снежной плесенью – 1,8 балла, у остальных

сортосов данный показатель находился в пределах 2,5–2,8 балла (табл. 1).

Исследуемые сорта озимой пшеницы характеризовались высокой устойчивостью к изучаемым листовым болезням (мучнистая роса, бурая ржавчина, септориоз). Следует отметить, что пораженность озимой пшеницы этими болезнями была в целом незначительной. Так, развитие мучнистой росы в вариантах полевого опыта в среднем за три года наблюдений у исследованных сортов составило 0,03–2,00 %.

Распространенность и развитие бурой ржавчины в среднем за годы исследований была выше, чем мучнистой росы – от 13,1 до

33,1 % по сортам, в среднем 23,3 %. Наибольшая средняя распространенность отмечена у сорта Немчиновская 57 – 33,1 %, наименьшая – Немчиновская 17 – 13,1 % (при НСР₀₅ по фактору А по годам исследований: 2022 г. – 13,36 %; 2023 г. – 16,21 %; 2024 г. – 15,22 %).

Отмечено значительное поражение растений озимой пшеницы септориозом: распространение болезни в среднем за три года наблюдений изменялось по сортам от 55,3 до 88,2 %, в среднем – 69,0 % (при НСР₀₅ по фактору А по годам исследований: 2022 г. – 16,34 %; 2023 г. – 17,51 %; 2024 г. – 19,12 %). Наибольшее распространение болезни отмечено у сорта Московская 39 – 88,2 %, наименьшее – Московская 82 и Московская 56 – 64,1 и 55,3 % соответственно. Развитие заболевания изменялось по вариантам опыта от 3,8 до 6,8 % (при НСР₀₅ по взаимодействию факторов АВС по годам исследований: 2022 г. – 2,53 %; 2023 г. – 1,62 %; 2024 г. – 2,97 %). Максимальное развитие этой болезни зафиксировано у сорта Московская 39 – 6,8 %.

Применение биопрепарата Восток ЭМ-1 при инокуляции семян, как и обработка растений озимой пшеницы в фазу кущения препаратами Восток ЭМ-1 и Нанокремний, не оказало статистически значимого влияния на распространенность бурой ржавчины и септориоза в посевах озимой пшеницы в годы исследований. За три года интервал средних значений по распространенности бурой ржавчины составил 23,0–25,7 % (при НСР₀₅ по фактору С по годам исследований: 2022 г. – 7,86 %; 2023 г. – 9,63 %; 2024 г. – 10,92 %); по распространенности септориоза – 74,8–77,4 % (при НСР₀₅ по фактору С: 2022 г. – 6,98 %; 2023 г. – 8,65 %; 2024 г. – 9,87 %).

Одним из обобщающих показателей эффективности применяемой технологии производства озимой пшеницы является урожайность. У изучаемых сортов урожайность в зависимости от применения минеральных удобрений и биопрепарата в среднем за годы наблюдений изменялась по опыту от 5,04 т/га (сорт Немчиновская 17) до 6,91 т/га (Московская 82) (табл. 2). При этом следует отметить, что такие сорта, как Московская 82 и Немчиновская 85 дали наиболее значимые прибавки (статистически обоснованные по годам исследования) к средней за три года наблюдений урожайности по сравнению со стандартом (Московская 39) соответственно на 1,11 и 0,30 т/га (НСР₀₅ по фактору А: 2022 г. – 0,20; 2023 г. – 0,18; 2024 г. – 0,23 т/га).

Применение минеральных удобрений в дозах N₁₀P₃₀K₃₀ + N₅₀ и N₂₀P₆₀K₆₀ + N₁₀₀ позволило повысить среднюю урожайность озимой пшеницы на 0,18 и 0,27 т/га соответственно по сравнению с вариантом без внесения фонового удобрения (табл. 2). Статистически значимая прибавка урожайности от изучаемых доз NPK получена по каждому году исследований (НСР₀₅ по фактору В: 2022 г. – 0,12; 2023 г. – 0,11; 2024 г. – 0,15 т/га).

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность изучаемых сортов озимой пшеницы нивелировано засушливыми условиями периодов вегетации – июль 2022 г. (ГТК = 0,8); май – июнь 2023 г. (ГТК – 0,6 и 0,8) и 2024 г. (ГТК – 0,7 и 0,8) при среднемноголетнем значении 1,3 и 1,5 соответственно). Поэтому применение микроудобрения и биопрепарата в стрессовых условиях проведения полевого опыта повлияло на урожайность сортов озимой пшеницы в большей степени, чем минеральные удобрения.

Опрыскивание растений озимой пшеницы в фазу кущения микроудобрением Нанокремний и биопрепаратом Восток ЭМ-1 позволило повысить ее урожайность соответственно на 0,21 т/га (3,9 %) и 0,55 (10,1 %) т/га по сравнению с контрольным вариантом без обработок (при НСР₀₅ по фактору С по годам исследований: 2022 г. – 0,07; 2023 г. – 0,09; 2024 г. – 0,10). При этом предпосевная обработка семян озимой пшеницы биопрепаратом Восток ЭМ-1 также повышала ее урожайность по сравнению с контрольным вариантом и вариантом с применением Нанокремния по вегетирующим растениям (табл. 2). Статистически значимых различий от применения биопрепарата Восток ЭМ-1 при инокуляции семян по вегетации растений озимой пшеницы по годам исследования выявлено не было.

Нужно отметить, что нами выявлена различная сортовая отзывчивость на подкормку биопрепаратом Восток ЭМ-1: у сортов современной селекции Немчиновская 85 и Московская 82 получена большая прибавка от внекорневого применения изучаемого биопрепарата (в среднем по всем фонам минерального питания) по сравнению с контролем без обработки – 0,59 и 0,77 т/га соответственно. При этом у сорта-стандарта Московская 39 эффект от применения биопрепарата при внекорневой обработке посевов составил меньшую величину – 0,41 т/га.

Таблица 2 – Урожайность озимой мягкой пшеницы в зависимости от сорта, применения минеральных удобрений и биопрепарата (среднее за 2022–2024 гг.), т/га /
Table 2 – Yield of winter soft wheat depending on the cultivar, application of mineral fertilizers and biological product (average for 2022–2024), t/ha

Сорт (фактор А) / Cultivar (factor A)	Обработка препаратами (фактор С) / Treatment with preparations (factor C)									
	без обработки / without treatment		Нанокремний / Nanosilicon***		Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1*		Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1***		Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1***	
	без удобрений / without fertilizers	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₁₀₀ **	без удобрений / without fertilizers	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₁₀₀ **	без удобрений / without fertilizers	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₁₀₀ **	без удобрений / without fertilizers	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₁₀₀ **	без удобрений / without fertilizers	N ₂₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₁₀₀ **
Московская 39, ст. / 'Moskovskaya 39', st	5,37	5,50	5,63	5,71	5,72	5,99	5,93	6,01	6,10	5,92
Московская 40 / 'Moskovskaya 40'	4,89	4,89	4,95	5,00	5,00	5,14	5,01	5,36	5,45	5,60
Московская 56 / 'Moskovskaya 56'	5,06	5,19	5,33	5,20	5,44	5,30	5,40	5,70	5,68	6,00
Московская 82 / 'Moskovskaya 82'	6,23	6,68	6,36	6,91	6,47	6,96	6,82	7,35	7,21	7,84
Немчиновская 17 / 'Nemchinovskaya 17'	4,84	4,63	4,93	5,26	4,96	5,09	4,97	5,20	5,25	5,42
Немчиновская 57 / 'Nemchinovskaya 57'	4,90	5,61	5,16	5,58	5,50	5,39	5,64	6,10	5,80	6,47
Немчиновская 85 / 'Nemchinovskaya 85'	5,34	5,90	6,05	5,97	6,17	5,89	6,19	6,33	6,14	6,48
Среднее по фактору А / Average of factor A	Московская 39 / 'Moskovskaya 39'						5,80			
	Московская 40 / 'Moskovskaya 40'						5,07			
	Московская 56 / 'Moskovskaya 56'						5,45			
	Московская 82 / 'Moskovskaya 82'						6,91			
	Немчиновская 17 / 'Nemchinovskaya 17'						5,04			
Среднее по фактору В / Average of factor B	Немчиновская 57 / 'Nemchinovskaya 57'						5,60			
	Немчиновская 85 / 'Nemchinovskaya 85'						6,10			
	Без удобрений / Without fertilizers						5,59			
	N ₁₀ P ₃₀ K ₃₀ + N ₅₀ **						5,77			
	N ₂₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₁₀₀ **						5,86			
Среднее по фактору С / Average of factor C	Без обработки / Without treatment						5,43			
	Нанокремний / Nanosilicon***						5,64			
	Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1*						5,83			
	Восток ЭМ-1 / Vostok EM-1***						5,98			

Примечания: * инокуляция семян; ** прикорневая подкормка в фазу кущения (весной); *** внекорневая подкормка в фазу кущения (весной) /
Notes: * inoculation of seeds; ** basal top dressing during the tillering phase (in spring); *** foliar top dressing in the tillering phase (in spring)

Закключение. При изучении влияния элементов технологии возделывания озимой пшеницы (применение биопрепарата, микро- и макроминеральных удобрений) на фитосанитарное состояние посевов установлено, что в целом пораженность снежной плесенью растений озимой пшеницы в среднем за три года наблюдений была значительной (2,77 балла); изучаемые сорта озимой пшеницы проявили себя как высокоустойчивые к исследуемым листовым болезням (мучнистая роса, бурая ржавчина, септориоз). Применение препаратов Восток ЭМ-1 и Нанокремний в среднем за три года не повлияло на распространенность болезней (бурая ржавчина и септориоз) в посевах исследуемых сортов озимой пшеницы.

Выявлено, что за три года наблюдений самый высокоурожайный сорт озимой пшеницы в почвенно-климатических условиях Нижегородской области – Московская 82 (6,91 т/га), выше сорта-стандарта Московская 39 на 1,11 т/га. Внесение минеральных удобрений в дозах $N_{10}P_{30}K_{30} + N_{50}$ и $N_{20}P_{60}K_{60} + N_{100}$ в засушливых условиях мая – июня повысило среднюю за три года исследований урожайность озимой пшеницы на 0,18 и 0,27 т/га, или 3,2–4,8 % по сравнению с вариантом без их применения. Выявлено, что в среднем за три года наблюдений, обработка вегетирующих растений препаратами Нанокремний и Восток ЭМ-1 в фазе кущения озимой пшеницы повысила ее урожайность соответственно на 0,21–0,55 т/га, или 3,9 и 10,1 % по сравнению с контрольным вариантом без обработок.

Список литературы

1. Жученко А. А. Обеспечение продовольственной безопасности России в XXI веке на основе адаптивной стратегии устойчивого развития АПК (теория и практика). Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 274 с. Режим доступа: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004340956?ysclid=m6svtruvkl389652193>
2. Петров Л. К., Саков А. П. Влияние приемов технологии возделывания на урожайность и качество зерна сортов озимой пшеницы в Нижегородской области. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020;(24):81–83. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-priemov-tehnologii-vozdelivaniya-na-urozhaynost-i-kachestvo-zerna-sortov-ozimoy-pshenitsy-v-nizhegorodskoy-oblasti?ysclid=m6svxroudz983190257>
3. Сандухадзе Б. И., Мамедов Р. З., Крахмалева М. С., Бугрова В. В. Урожайность сортов озимой пшеницы, элементы ее структуры и адаптивные свойства в условиях Нечерноземной зоны. Зернобобовые и крупяные культуры. 2021;(3(39)):17–22. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-17-22> EDN: XGWVMY
4. Черкасов Г. Н., Пыхтин И. Г., Гостев А. В. Современный подход к систематизации обработок почвы в агротехнологиях нового поколения. Достижения науки и техники АПК. 2016;30(1):5–8. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651218> EDN: TLFAHT
5. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Boyce A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability – A Review. Molecules. 2016;21(573):1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
6. Ивенин А. В., Ивенин В. В., Богомоллова Ю. А., Голубев С. М., Бугров И. И. Влияние технологий возделывания яровой пшеницы на засоренность ее посевов и урожайность в условиях Нижегородской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):655–663. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.655-663> EDN: PYASYZ
7. Ториков В. Е., Сорокин А. Е. Биологизация земледелия как основа развития современного сельского хозяйства. Аграрный вестник Урала. 2011;(5(84)):18–20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17847015> EDN: PAOFCN
8. Бутов А. В. Приемы биологизации и голландской технологии при возделывании картофеля. Земледелие. 2008;(5):33–35.
9. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Иванов В. Л. Улучшенная ресурсосберегающая технология обработки почвы и применения биопрепаратов под яровые зерновые культуры в условиях центральной зоны Северо-Востока европейской части России. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3):43–48. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/130/130>
10. Козлова Л. М., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Денисова А. В. Применение основных элементов ресурсосберегающих экологически безопасных технологий при выращивании яровых зернофуражных культур в центральной зоне Северо-Востока европейской части России. Проблемы интенсификации животноводства с учетом охраны окружающей среды и производства альтернативных источников энергии, в том числе биогаза: сб. статей. Варшава: Институт технологических и естественных наук в Фалентах, 2018. С. 67–74.
11. Богомоллова Ю. А., Ивенин В. В., Ивенин А. В., Минеева Н. А., Шашкаров Л. Г. Роль ресурсосберегающих технологий и деструкторов соломы в изменении содержания и качественного состава органического вещества светло-серой лесной почвы в условиях Нижегородской области. Вестник Чувашского университета. 2023;(4(27)):13–19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=lksfmr> EDN: LKSFMR

References

1. Zhuchenko A. A. Ensuring Russia's food security in the 21st century based on an adaptive strategy for sustainable agricultural development (theory and practice). Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2009. 274 p. URL: <https://search.rsl.ru/ru/record/01004340956?ysclid=m6svtruvkl389652193>

2. Petrov L. K., Sakov A. P. Influence of cultivation techniques on yield and grain quality of winter wheat varieties in the Nizhny Novgorod region. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(24):81–83. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyaniye-priemov-tehnologii-vozdelyvaniya-na-urozhaynost-i-kachestvo-zerna-sortov-ozimoy-pshenitsy-v-nizhegorodskoy-oblasti?ysclid=m6svxroutdz983190257>
3. Sandukhadze B. I., Mamedov R. Z., Krakhmaleva M. S., Bugrova V. V. Yield of winter bread wheat varieties, elements of its structure and adaptive properties in the conditions of the Nечernozem zone. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2021;(3(39)):17–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2021-3-17-22>
4. Cherkasov G. N., Pykhtin I. G., Gostev A. V. Modern approach to tillage systematization in agricultural technologies of new generation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2016;30(1):5–8. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25651218>
5. Vejan P., Abdullah R., Khadiran T., Ismail S., Boyce A. N. Role of Plant Growth Promoting Rhizobacteria in Agricultural Sustainability – A Review. *Molecules*. 2016;21(573):1–17. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules21050573>
6. Ivenin A. V., Ivenin V. V., Bogomolova Yu. A., Golubev S. M., Bugrov I. I. The influence of cultivation technologies on the contamination of spring wheat crops and yield in the conditions of the Nizhny Novgorod region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(4):655–663. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.655-663>
7. Torikov V. E., Sorokin A. E. Biologization agriculture as a basis of modern agriculture. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2011;(5(84)):18–20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17847015>
8. Butov A. V. Methods of biologization and Dutch technology in potato cultivation. *Zemledelie*. 2008;(5):33–35. (In Russ.).
9. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Ivanov V. L. Improved resource-saving technology of soil cultivation and use of bio-preparations for spring cereals crops under conditions of central zone of North-East of European part of Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3):43–48. (In Russ.). URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/130/130>
10. Kozlova L. M., Popov F. A., Noskova E. N., Denisova A. V. Technologies of growing of spring grain-forage crops in central part of European north-east of Russia. Problems of intensification of animal husbandry, taking into account environmental protection and the production of alternative energy sources, including biogas: collection of articles. Varshava: *Institut tekhnologicheskikh i estestvennykh nauk v Falentakh*, 2018. pp. 67–74.
11. Bogomolova Yu. A., Ivenin V. V., Ivenin A. V., Mineeva N. A., Shashkarov L. G. The role of resource-saving technologies and straw destructors in changing the content and qualitative composition of organic matter of light gray forest soil in the conditions of the Nizhny Novgorod region. *Vestnik Chuvashskogo universiteta* = Bulletin of the Chuvash University. 2023;(4(27)):13–19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=lksfmr>

Сведения об авторах

✉ **Ивенин Алексей Валентинович**, доктор с.-х. наук, доцент, ведущий научный сотрудник, профессор кафедры земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7072-4029>, e-mail: a.v.ivenin@mail.ru

Ивенин Валентин Васильевич, доктор с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6903-8312>

Петров Леонид Кириллович, кандидат с.-х. наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-7491>

Голубев Сергей Михайлович, аспирант кафедры земледелия и растениеводства, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет им. Л. Я. Флорентьева», Гагарина пр., д. 97, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0458-4267>

Information about the authors

✉ **Alexey V. Ivenin**, DSc in Agricultural Science, associate professor, leading researcher, professor at the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, Gagarin Ave., 97, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7072-4029>, e-mail: a.v.ivenin@mail.ru

Valentin V. Ivenin, DSc in Agricultural Science, professor, Head of the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, Gagarin Ave., 97, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6903-8312>

Leonid K. Petrov, PhD in Agricultural Science, associate professor, senior researcher, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, Gagarin Ave., 97, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2836-7491>

Sergey M. Golubev, postgraduate student, the Department of Agriculture and Crop Production, Nizhny Novgorod State Florentyev Agrotechnological University, Gagarin Ave., 97, Nizhny Novgorod, Russian Federation, 603107, e-mail: nnovniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0458-4267>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние приемов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность озимой пшеницы

© 2025. Е. Н. Носкова[✉], А. Ю. Софронова, Е. В. Светлакова
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
имени Н. В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

Цель исследований – изучить комплексное влияние приемов основной обработки почвы (отвальная вспашка на 20–22 см и комбинированная плоскорезная обработка на 14–16 см) и уровней минерального питания (без удобрения, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{30}P_{30}K_{30} + ОМУ$, $N_{30}P_{30}K_{30} + КАС$, $N_{60}P_{60}K_{60}$) на урожайность, показатели структуры урожайности и качество зерна озимой пшеницы сорта Московская 82. Исследования проводили в условиях Кировской области на дерново-подзолистой почве в 2022–2023 гг. Для внекорневой подкормки в фазу кущения культуры использовали органо-минеральное удобрение (ОМУ) Полидон Амино Старт (1 л/га) и карбамидно-аммиачную смесь (КАС) (30 л/га). Урожайность зерна в 2022 г. составила 5,66–7,71 т/га, в 2023 г. – 2,63–7,25 т/га и в большей степени зависела от уровня минерального питания. В 2023 году была отмечена сильная корреляция между урожайностью, количеством продуктивных стеблей на единице площади, количеством зерен в колосе и массой зерна с колоса ($r = 0,76; 0,70$ и $0,78$ соответственно). Достоверное увеличение количества продуктивных стеблей отмечено в 2023 г. в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30} + КАС$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. Количество и масса зерна с колоса не зависели от приема обработки почвы и уровня минерального питания. Масса 1000 зерен озимой пшеницы в 2023 г. при применении отвальной вспашки (57,3 г) была на 2,2 г ($НСР_{05} = 0,57$) выше, чем при обработке комбинированным агрегатом (55,1 г). Таким образом, изучаемые факторы оказали влияние только на урожайность и массу 1000 зерен. Результаты оценки качества зерна озимой пшеницы показали, что исследуемые факторы не оказали достоверного влияния на содержание в нем белка, клетчатки и золы. В большей степени на эти показатели повлияли погодные условия весенне-летней вегетации: доля влияния на количество белка в зерне составила 42,5 %, на содержание клетчатки – 59,2 %. Согласно ГОСТ-9353-2016 (Пшеница мягкая. Технические условия) в 2022 г. по содержанию белка получено зерно 3 и 4-го классов, в 2023 – 3-го класса качества.

Ключевые слова: озимая культура, внекорневые подкормки, минеральные удобрения, масса 1000 зерен, структура урожайности, качество зерна

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2025-0005).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы. Авторы выражают благодарность сотрудникам ФГБУ «Россельхозцентр» по Кировской области и Республике Коми за предоставленную информацию о посевных площадях озимой пшеницы в Кировской области.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Носкова Е. Н., Софронова А. Ю., Светлакова Е. В. Влияние приемов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность озимой пшеницы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1059–1068. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1059-1068>

Поступила: 18.03.2025

Принята к публикации: 09.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Effect of tillage methods and mineral nutrition levels on winter wheat yield

© 2025. Eugenia N. Noskova[✉], Angelina Yu. Sofronova, Elena V. Svetlakova
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,
Kirov, Russian Federation

The purpose of the research was to study the complex effect of basic tillage techniques (moldboard plowing at 20–22 cm and combined boardless tillage at 14–16 cm) and mineral nutrition levels (without fertilizer, $N_{30}P_{30}K_{30}$, $N_{30}P_{30}K_{30} + OMF$, $N_{30}P_{30}K_{30} + CAM$, $N_{60}P_{60}K_{60}$) on the yield, yield structure indicators and grain quality of winter wheat of the 'Moskovskaya 82' cultivar. The research was carried out on sod-podzolic soil in the conditions of the Kirov region in 2022–2023. Organo-mineral fertilizer Polydon Amino Start (1 L/ha) and carbamide-ammonia mixture (CAM) (30 L/ha) were used for foliar fertilization during the tillering phase of the crop. Grain yield during the research years was 5.66–7.71 t/ha in 2022 and 2.63–7.25 t/ha in 2023, and was more dependent on the level of mineral nutrition. In 2023 there was a strong correlation between the yield, the number of ears per area unit, the number of grains per ear, and the weight of grain per ear ($r = 0.76; 0.70$ and 0.78 , respectively). There was a significant increase in the number of productive stems in 2023 in the variants $N_{30}P_{30}K_{30} + CAM$, $N_{60}P_{60}K_{60}$. The amount and weight of grain in the ear did not depend on the tillage method and the level of mineral nutrition. The weight of 1000 grains of winter wheat in 2023, when using moldboard plowing (57.3 g), was 2.2 g ($LS_{05} = 0.57$ g) higher than when tilling with a combined unit (55.1 g). Thus, the studied factors had an impact only on the yield and weight of 1000 grains. Evaluation of the quality of winter wheat grain showed that the studied factors did not have a significant effect on the content of protein, fiber and ash. To a greater extent, these indicators were influenced by the weather conditions of spring

and summer growing season: the share of influence on the amount of protein in the grain was 42.5 %, on the fiber content – 59.2 %. According to the State Standard-9353-2016 (Soft wheat. Technical specifications) on the protein content in 2022, grain of the 3rd and 4th classes was obtained, in 2023 – grain of the 3rd quality class.

Keywords: winter crop, foliar fertilization, mineral fertilizers, 1000 grain weight, yield structure, grain quality

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2025-0005).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work. The authors thank the staff of the FGBU “Rosselkhoztsentr” (Russian Agricultural Center) in the Kirov region and Komi Republic for providing information on winter wheat acreage in the Kirov region.

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

For citation: Noskova E. N., Sofronova A. Yu., Svetlakova E. V. Effect of tillage methods and mineral nutrition levels on winter wheat yield. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1059–1068. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1059-1068>

Received: 18.03.2025

Accepted for publication: 09.10.2025

Published online: 31.10.2025

Озимая пшеница является важнейшей зерновой культурой, обеспечивающей продовольственную безопасность нашей страны. В зерне озимой пшеницы отмечено высокое содержание белков (16 %), жиров (2 %), углеводов, ферментов и витаминов. Эта культура способна давать стабильные урожаи в различных регионах России при адаптации сортов и технологий к условиям места возделывания [1].

В Кировской области, по данным Россельхозцентра, в 2024 г. под посевами озимой пшеницы было занято более 15 тыс. га, из них около 12 % занимает сорт Московская 82.

Для получения устойчивых урожаев зерна озимой пшеницы хорошего качества необходимо, помимо подбора адаптивных к условиям региона сортов, совершенствовать технологии их возделывания на основе принципов ресурсосбережения и экологической безопасности.

Одним из основных элементов агротехнологии является обработка почвы, которая, по мнению ряда авторов [2, 3], является средством для поддержания хорошего фитосанитарного состояния почвы и посевов, позволяет увеличить урожайность сельскохозяйственных культур.

В настоящее время распространенная в земледелии высокоинтенсивная обработка ведет к нарушению почвенной структуры, ухудшению агрофизических и агрохимических свойств, снижению плодородия почвы, урожайности и качества получаемой продукции [4, 5, 6]. В Кировской области все чаще наблюдается переход от отвальной обработки почвы к энергосберегающим приемам поверхностной обработки, которые приводят к изменению условий роста и развития культуры, что в конечном итоге может повлиять на уровень урожайности и показатели качества зерна [7].

Оптимизация минерального питания является одним из важнейших приемов, обес-

печивающих формирование размеров и качественных характеристик урожая озимой пшеницы [8, 9, 10]. Для получения максимальной урожайности необходимо грамотно подобрать дозы внесения, особенно при минимализации основной обработки почвы [11].

Все большее значение приобретают листовые подкормки водорастворимыми удобрениями. Их применение способствует снижению развития болезней, оказывает положительное влияние на урожайность и качество зерна озимой пшеницы [12, 13].

Урожайность культуры – важнейший количественный признак, обусловленный совокупностью сложных процессов, протекающих в растительном организме в течение вегетационного периода [14].

К основным элементам, слагающим урожай, относятся: количество продуктивных стеблей на единице площади; количество зерен в колосе; масса зерна с колоса; масса 1000 зерен [15]. Важно отметить, что количество продуктивных стеблей на единице площади регулируется агротехническими приемами. Масса 1000 зерен – признак генетически обусловленный, фенотипически менее изменчивый. Озерненность колоса также в значительной степени определяется спецификой сорта и зависит от условий выращивания растений озимой пшеницы в период закладки генеративных органов [16].

Определено, что продуктивность пшеницы можно повысить путём улучшения структуры урожая, но значение элементов продуктивности окончательно не выяснено [17, 18]. В одних случаях основными элементами структуры урожая являются количество растений на единице площади, продуктивная кустистость, число зёрен в колосе, масса 1000 зёрен [18], в других большое значение имеет продуктивность колоса [19, 20]. В целом максимальная

урожайность сортов пшеницы возможна при оптимальном формировании всех элементов продуктивности, что создаст определённые возможности управления процессом формирования урожая за счет регулирования его элементов. Все эти слагаемые урожая зависят от условий возделывания озимой пшеницы: метеорологических, почвенных, агротехнических и других. Также важно учитывать взаимозависимость элементов структуры урожая, их взаимосвязанность или возможность компенсаторных воздействий [21].

Проблема улучшения качества зерна – комплексная, состоящая из трех основных факторов: биологической или генетической особенности сортов озимой пшеницы; природно-климатических условий, куда входит почва, климат природной зоны и погодные условия конкретного периода; технологических приемов, которые создают оптимальные условия для формирования качественного зерна [22].

Цель исследований – изучить влияние приемов основной обработки дерново-подзолистой почвы и уровней минерального питания на урожайность и некоторые показатели качества зерна озимой пшеницы.

Научная новизна – впервые в условиях Кировской области получены данные по влиянию приемов основной обработки почвы и уровней минерального питания с включением внекорневых подкормок на урожайность и качество зерна озимой пшеницы сорта Московская 82.

Материал и методы. Исследования проводили на опытном поле ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2022-2023 гг. Почва опытного участка дерново-подзолистая среднесуглинистая, сформированная на элювии пермских глин. Агрохимические показатели почвы: гумус – 2,00 % (по методу Тюрина), P_2O_5 – 191 мг/кг почвы, K_2O – 130 мг/кг почвы (по методу Кирсанова), $pH_{сол.}$ – 4,83. Объект исследования – озимая пшеница сорта Московская 82¹ (включён в Госреестр РФ по Волго-Вятскому региону). Предшественник озимой пшеницы – клевер на зеленый корм.

В опыте изучали приемы основной обработки почвы и уровни минерального питания.

Схема опыта. Приемы основной обработки почвы (фактор А):

1 – вспашка на 20–22 см (контроль);

2 – плоскорезная комбинированная обработка на 14–16 см.

Система удобрения (фактор В):

1 – $N_0P_0K_0$ (контроль);

2 – $N_{30}P_{30}K_{30}$;

3 – $N_{30}P_{30}K_{30}$ + подкормка ОМУ (1 л/га)

в фазу кушения;

4 – $N_{30}P_{30}K_{30}$ + подкормка КАС (30 л/га)

в фазу кушения;

5 – $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Общая площадь делянки 64 м², учетная – 33,6 м², повторность четырехкратная, размещение делянок систематическое.

Вспашку проводили плугом ПЛН-3-35, плоскорезную обработку – комбинированным агрегатом МПА-2,2/3,0, разработанным в лаборатории механизации полеводства ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Агрегат оборудован плоскорезными лапами и дисковой секцией.

Минеральные удобрения (нитроаммофоска) вносили вручную вразброс перед проведением предпосевной культивации (КПС-4) под озимую пшеницу. Внекорневые подкормки органоминеральным удобрением (ОМУ) и карбамидно-аммиачной смесью (КАС) проводили с помощью ранцевого опрыскивателя в фазу кушения растений озимой пшеницы 10 мая 2022 г. и 30 мая 2023 г. В качестве ОМУ использовали удобрение для начальных этапов вегетации Полидон Амино Старт², в состав которого входят макро-, мезо- и микроэлементы в комплексе с аминокислотами и низкомолекулярными пептидами (г/л): L-аминокислоты и олигопептиды – 200, азот – 120, фосфор – 25, калий – 25, магний – 15, железо – 6, марганец – 3, цинк – 3, медь – 3, бор – 3, молибден – 1, кобальт – 0,05. КАС³ представляет собой раствор карбамида с аммиачной селитрой (азот – 28 %).

Технология возделывания озимой пшеницы общепринятая для озимых зерновых в Кировской области⁴. Посев провели 26 августа сеялкой СН-16. Уборку урожая проводили комбайном Сампо-500 в 2022 г. – 8 августа, в 2023 г. – 9 августа.

¹Московская 82. Реестр селекционных достижений. [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru/registry/gosudarstvennyy-reestr-selektcionnykh-dostizheniy-dopushchennykh-k-ispolzovaniyu-tom-1-sorta-rasteni/moskovskaya-82-pshenitsa-myagkaya-ozimaya/> (дата обращения 09.10.2025)

²Полидон Амино Старт. Polydon agro26. [Электронный ресурс]. URL: <https://polydon26.ru/полидон-амино-старт/?ysclid=mgj0kx9l8x571432969> (дата обращения: 17.03.2025).

³Карбамидно-аммиачная смесь. Спецхимагро. [Электронный ресурс]. URL: <https://spetshimagro.ru/product/kas28/> (дата обращения: 17.03.2025).

⁴Уткина Е. И., Кедрова Л. И., Шамова М. Г. Парфенова Е. С., Набатова Н. А., Шешегова Т. К. и др. Возделывание озимой ржи в условиях северного земледелия: научно-практические рекомендации. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2021. 120 с.

Элементы структуры урожайности определяли путем анализа растений снопа, отбираемого с пробных площадок на делянках перед уборкой⁵. Массу 1000 зерен находили по ГОСТ 10842-89⁶.

Анализ качества зерна озимой пшеницы (содержание белка, клетчатки и золы) проводили с помощью прибора INFRAMATIC.

Полученные данные в одинаковых весовых единицах обрабатывали методом дисперсионного анализа с использованием программы AGROS 2.07.

Погодные условия 2021–2023 гг. сложились удовлетворительными для возделывания озимой пшеницы. В августе 2021 г. перед посевом была жаркая и сухая погода с дефицитом осадков, за месяц их выпало всего 37 мм (48 % от нормы). В сентябре осадков выпало 140 % от нормы, октябрь был более теплым и сухим. К концу осенней вегетации содержание сахаров в узле кущения составило 30,5–33,8 % в сухом веществе (или 6,60–7,35 % в сырой массе). В зимний период покоя озимой пшеницы погодные условия были неблагоприятными. Среднемесячная температура января и февраля отмечена выше среднееголетнего показателя, и осадки выпадали неравномерно. Первый месяц весны (март 2022 г.) был прохладным с небольшим количеством осадков. Обильные осадки в апреле и мае способствовали хорошему отрастанию растений озимой пшеницы и их активной регенерации. Во время колошения растений в июне стояла теплая и влажная погода. В июле были оптимальные погодные условия для налива зерна. Перед уборкой растений в августе была жаркая с редкими дождями погода. Количество выпавших осадков за месяц составило всего 18 мм (25 % от нормы).

В конце августа 2022 г. провели посев озимой пшеницы на второй закладке опыта. Сентябрь и октябрь были влажными, количество осадков составило 81 мм (144 % от нормы) и 80 мм (116 % от нормы) соответственно, что способствовало хорошему развитию растений и их закалке. Содержание сахаров в узле кущения перед уходом в зиму составило 40,5–44,8 % в сухом веществе (или 8,6–9,5 % в сырой массе). В зимний период наблюдали неблагоприятные условия для перезимовки растений, так как в начале второй декады декабря прошел

сильный дождь при минусовых температурах воздуха, что привело к образованию ледяной корки. В феврале температура воздуха была выше среднееголетнего показателя на 2,0 °С.

В начале весны (март 2023 г.) отмечена теплая погода с большим количеством осадков, к 31 марта поля практически освободились от снега. Возобновление вегетации растений озимой пшеницы проходило при теплой и сухой погоде апреля, кущение – при неустойчивой по температуре и осадкам в мае. За месяц выпало 45 мм осадков (86 % от нормы). Во время колошения растений наблюдали холодную погоду с небольшими осадками (38 % от нормы). В июле во время созревания растений была очень влажная погода, выпало 177 мм осадков (227 % от нормы). Перед уборкой растений в августе установилась теплая и сухая погода. Средняя за месяц температура воздуха составила 17,4 °С, осадков выпало всего 15 мм (21 % от нормы).

Результаты и их обсуждение. На элементы структуры урожая и урожайность зерна повлияли приемы основной обработки и изучаемые уровни минерального питания (табл. 1).

В 2022 г. густота продуктивного стеблестоя составила 516–752 шт/м² и не зависела от изучаемых факторов. В 2023 году уровень минерального питания повлиял на этот показатель. При применении минеральных удобрений в дозе N₃₀P₃₀K₃₀ и при подкормке пшеницы органоминеральным удобрением достоверного увеличения количества продуктивных стеблей отмечено не было. При обработке посевов КАС количество продуктивных стеблей по сравнению с контролем возросло на 167 шт/м². В вариантах, где минеральные удобрения вносили в дозе N₆₀P₆₀K₆₀ густота продуктивного стеблестоя в 2 раза выше, чем в контроле – 644 шт/м² (НСР₀₅B = 135,9). В среднем за 2 года исследований оба изучаемых фактора оказали существенное влияние: при применении комбинированного почвообрабатывающего агрегата количество колосьев на единице площади было достоверно выше, чем при отвальной вспашке. Применение минеральных удобрений и листовых подкормок также позволило увеличить продуктивную кустистость озимой пшеницы по сравнению с вариантами без удобрений.

⁵Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. М., 1989. 194 с

⁶ГОСТ 10842-89. Зерно зерновых и бобовых культур и семена масличных культур. Метод определения массы 1000 зерен или 1000 семян. М.: Стандартинформ. 2009. 4 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294840/4294840036.pdf>

Таблица 1 – Элементы структуры урожайности озимой мягкой пшеницы сорта Московская 82 в зависимости от приемов обработки почвы (фактор А) и уровня минерального питания (фактор В) /
Table 1 – Elements of yield structure of the 'Moskovskaya 82' winter soft wheat cultivar depending on the methods of tillage (factor A) and the level of mineral nutrition (factor B)

Вариант / Variant	Количество продуктивных стеблей, шт./м² / Number of productive stems, pcs/m²			Количество зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs.			Масса зерна с одного колоса, г / Grain weight per ear, g			Масса 1000 зерен, г / 1000 grain weight, g					
	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.	среднее/ average			
Вспахка, 20–22 см / Plowing, 20–22 cm	N₀P₀K₀			622	274	448	36	30	33	3,10	1,79	2,44	53,3	56,9	55,1
	N₃₀P₃₀K₃₀			738	458	598	42	32	37	2,37	1,73	2,05	52,5	55,7	54,1
	N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМУ / N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМФ			656	414	535	41	33	37	2,22	1,92	2,07	53,6	58,1	55,8
	N₃₀P₃₀K₃₀ + КАС / N₃₀P₃₀K₃₀ + САМ			534	516	525	43	36	39,5	2,39	2,38	2,39	53,3	59,9	56,6
	N₆₀P₆₀K₆₀			608	502	555	41	38	39,5	2,35	2,10	2,22	52,9	56,0	54,4
	Среднее (А) / Average (А)			631,6	432,8	532,2	40,6	33,8	37,2	2,29	1,98	2,24	53,1	57,3	55,2
Плоскорезная обработка, 14–16 см / Boardless tillage, 14–16 cm	N₀P₀K₀			590	344	467	36	36	36	1,91	1,83	1,87	52,8	51,6	52,2
	N₃₀P₃₀K₃₀			516	416	466	39	36	37,5	2,15	2,02	2,09	54,1	56,8	55,4
	N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМУ / N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМФ			548	436	492	38	36	37	2,03	2,16	2,10	52,5	57,2	54,8
	N₃₀P₃₀K₃₀ + КАС / N₃₀P₃₀K₃₀ + САМ			664	436	550	39	37	38	1,98	1,97	1,98	51,9	53,8	52,8
	N₆₀P₆₀K₆₀			752	786	769	41	35	38	2,18	1,98	2,08	52,4	56,3	54,3
	Среднее (А) / Average (А)			614,0	483,6	548,8	38,6	36,0	37,3	2,05	1,99	2,02	52,7	55,1	53,9
Среднее (В) / Average (В)	HCP₀₅ (А) / LSD₀₅ (А)			$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	0,2	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	0,57	$F_{\phi} < F_m$
	N₀P₀K₀			606	309	457,5	36	33	34,5	2,5	1,81	2,16	53,0	54,2	53,6
	N₃₀P₃₀K₃₀			627	437	532,0	40,5	34	37,2	2,26	1,88	2,07	53,3	56,2	54,8
	N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМУ / N₃₀P₃₀K₃₀ + ОМФ			602	425	513,5	39,5	34,5	37,0	2,12	2,05	2,08	53,0	57,6	55,3
	N₃₀P₃₀K₃₀ + КАС / N₃₀P₃₀K₃₀ + САМ			599	476	537,5	41	36,5	38,7	2,18	2,17	2,18	52,6	56,8	54,7
	N₆₀P₆₀K₆₀			680	644	662,0	41	36,5	38,7	2,26	2,04	2,15	52,6	56,4	54,4
HCP₀₅ (В) / LSD₀₅ (В)			$F_{\phi} < F_m$	135,9	2,9	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	2,8	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$	$F_{\phi} < F_m$

Количество зерен в колосе не зависело от приема обработки почвы и уровня минерального питания и варьировало в 2022 г. в пределах 36–43 шт., в 2023 г. – 30–38 шт. Масса зерна с колоса также не зависела от изучаемых факторов и составила 1,91–3,10 г в 2022 г. и 1,73–2,38 г в 2023 г. В среднем за два года исследований на озерненность колоса в большей степени повлиял уровень минерального питания растений в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30}$ + КАС; $N_{60}P_{60}K_{60}$.

Масса 1000 зерен в годы исследований была выше сортовых признаков (42–51 г). Установлено, что в 2022 г. применение отвальной и комбинированной обработок почвы не отразилось на величине массы 1000 зерен – по вариантам показатель изменялся от 51,9 до 54,1 г. В 2023 г. при применении отвальной вспашки масса 1000 зерен была выше на 2,2 г ($HCP_{05}A = 0,57$), чем в вариантах, где для основной обработки почвы использовали комбинированный агрегат. Масса зерна с колоса и масса 1000 зерен в среднем за два года исследований не зависели от изучаемых факторов.

В 2022 г. величина урожайности в большей степени определялась уровнем минерального питания, влияние этого фактора составило 41,6 %. Применение минеральных удобрений под культивацию в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ позволило увеличить урожайность на 0,55–1,14 т/га ($HCP_{05}B = 0,53$, табл. 2). Наиболее продуктивным отмечен вариант с применением вспашки и внесением удобрений в дозе по 60 кг д. в., где получено 7,71 т/га, что на 1,73 т/га больше, чем при этом же приеме основной обработки, но без использования минеральных удобрений. Внесение минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ позволило увеличить урожайность на 1,45 т/га, а применение в фазу кущения органоминеральных удобрений – на 1,24 т/га по сравнению с контролем ($HCP_{05}AB = 1,09$). При проведении комбинированной обработки почвы урожайность варьировала от 5,86 до 7,23 т/га.

В 2023 г. урожайность озимой пшеницы получена ниже, чем в предыдущем – от 2,63 т/га при применении вспашки без удобрений до 7,25 т/га в варианте, сочетающем вспашку с внесением минеральных удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ и обработку посевов КАС. Из изучаемых факторов на урожайность озимой пшеницы в большей степени повлиял уровень минерального питания. В среднем по вариантам применение минеральных удобрений и листовых подкормок увеличило урожайность зерна

озимой пшеницы на 1,83–2,19 т/га по сравнению с контролем (без удобрений) ($HCP_{05}B = 1,45$). Влияние фактора минерального питания на урожайность зерна составило 45,7 %.

В 2022 г. не было установлено тесной корреляционной связи между урожайностью и элементами ее структуры. В 2023 г. отмечена сильная корреляция между урожайностью, количеством продуктивных стеблей на единице площади, количеством зерен в колосе и массой зерна с колоса – 0,76, 0,70 и 0,78 соответственно.

В среднем за два года исследований на содержание белка и клетчатки в зерне озимой пшеницы большее влияние оказали не изучаемые факторы, а погодные условия года. Так, доля влияния года на количество белка составила 42,5 %, на содержание клетчатки – 59,2 %.

Качество зерна озимой пшеницы определяется согласно ГОСТ 9353-2016⁷ (Пшеница мягкая. Технические условия). В 2022 г. в вариантах «вспашка + $N_0P_0K_0$ », «вспашка + $N_{30}P_{30}K_{30}$ » и «плоскорезная обработка + $N_{30}P_{30}K_{30}$ + КАС» по содержанию белка получено зерно 4-го класса. В остальных вариантах зерно соответствовало 3-му классу качества. Уровень стекловидности у полученного зерна составил 43,0–48,5 %, что соответствует 3-му классу качества.

В 2023 г. во всех вариантах, где применяли плоскорезную обработку почвы, по содержанию белка получено зерно 1-го класса качества. При применении отвальной вспашки лишь в варианте с внесением минеральных удобрений в дозе по 60 кг д. в. зерно соответствовало 1-му классу качества. По уровню стекловидности (45,5–47,1 %) полученное во всех вариантах зерно относилось к 3-му классу.

Выводы. На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Приемы основной обработки почвы и уровень минерального питания в среднем за два года не оказали выраженного влияния на элементы структуры урожайности озимой пшеницы сорта Московская 82. Статистически значимое увеличение количества продуктивных стеблей отмечено в 2023 г. при внесении минеральных удобрений в дозе $N_{60}P_{60}K_{60}$, а также в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ и подкормке КАС в фазу кущения растений. В 2023 г. установлено существенное влияние отвальной обработки почвы на массу 1000 зерен озимой пшеницы: этот показатель на 2,2 г был выше, чем при применении комбинированной обработки.

⁷ГОСТ 9353-2016. Пшеница. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 15 с.
URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/62924>

Таблица 2 – Урожайность и качество зерна озимой мягкой пшеницы сорта Московская 82 в зависимости от приемов обработки почвы (фактор А) и уровня минерального питания (фактор В)
Table 2 – Yield and quality of winter soft wheat of the 'Moskovskaya 82' cultivar depending on the methods of tillage (factor A) and the level of mineral nutrition (factor B)

Вариант / Variant	Урожайность, т/га / Yield, t/ha		Белок, г/кг / Protein, g/kg		Клетчатка, г/кг / Fiber, g/kg		Зола, г/кг / Ash, g/kg	
	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.
	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.	среднее/ average	2022 г.	2023 г.
Вспахка, 20–22 см / Plowing, 20–22 cm								
Среднее (А) / Average (A)								
Плоскорезная обработка, 14–16 см / Boardless tillage, 14–16 cm								
Среднее (А) / Average (A)								
Среднее (В) / Average (B)								
НСР ₀₅ (В) / LSD ₀₅ (B)								

2. На урожайность зерна озимой пшеницы в годы исследований в большей степени повлиял уровень минерального питания растений (41,6–45,7 %). В 2022 г. внесение удобрений в дозе $N_{30}P_{30}K_{30}$ позволило увеличить урожайность на 0,55–1,14 т/га по сравнению с другими вариантами ($HCP_{05}B = 0,53$). В 2023 г. при применении минеральных удобрений и листовых подкормок отмечено увеличение урожайности

на 1,83–2,19 т/га по сравнению с вариантами, где удобрения не вносили ($HCP_{05}B = 1,45$).

3. В среднем за два года исследований на содержание белка и клетчатки в зерне озимой пшеницы Московская 82 оказали влияние погодные условия – 42,5 и 59,2 % соответственно. В 2022 г. по содержанию белка получено зерно 3 и 4-го классов качества, в 2023 году – 3-го класса качества.

Список литературы

1. Белоус Н. М., Ториков В. Е., Шпилев Н. С., Мельникова О. В., Малявко Г. П., Наумова М. П., Нестеренко О. М. Озимые зерновые культуры: биология и технологии возделывания. Брянск: Брянский ГАУ, 2010. 137 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tvjyuv> EDN: TVJYUV
2. Горянин О. И., Горянина Т. А. Эффективность возделывания сельскохозяйственных культур в степном Заволжье. Вестник Саратовского госагроуниверситета им. Н. И. Вавилова. 2013;(11):19–22.
3. Федоренко В. Ф., Сапожников С. Н., Петухов Д. А., Чаллыгин М. Е., Свиридова С. А., Алтухов А. И. и др. Научные основы производства высококачественного зерна пшеницы. М.: Росинформагротех, 2018. 396 с. DOI: <https://doi.org/10.25930/skc8-gc14> EDN: YKUNKP
4. Солодовников А. П., Лёвкина А. Ю. Влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Саратовском Заволжье. Аграрный научный журнал. 2020;(3):29–35. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i3pp29-35> EDN: IYAJES
5. Лапшинов Н. А., Пакуль В. Н., Божанова Г. В., Кукшенева Т. П. Накопление и сохранение продуктивной влаги в ресурсосберегающих технологиях. Международный научно-исследовательский журнал. 2013;(4-1(11)):131–134. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19029425> EDN: QAKYJP
6. Raimanova I. The effects of differentiated water supply after anthesis and nitrogen fertilization on 15N of wheat grain. Haberland. Rapid Communications in Mass Spectrometry. 2010;24(3):261–266. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.4382>
7. Козлова Л. М., Рубцова Н. Е., Соболева Н. Н. Опыт разработки и подходы к совершенствованию адаптивных систем земледелия на ландшафтной основе в условиях центральной зоны Северо-Восточного региона европейской части РФ. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(5):56–62. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26605314> EDN: WKFHNTB
8. Емельянова А. А., Дубовик Д. В., Айдиев А. Я., Логвинова В. Е. Изменение урожайности и качества зерна озимой пшеницы в зависимости от сорта и доз минеральных удобрений. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(11):26–30. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_11_26 EDN: OQKKWP
9. Гуреев И. И., Гостев А. В., Нитченко Л. Б., Лукьянов В. А., Хлюпина С. В., Прущик И. А. Агроэкологическая оценка технологии производства зерна озимой пшеницы в условиях Центрально-Черноземного региона. Земледелие. 2022;(6):37–40. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-37-40> EDN: EGRFVC
10. Шаповалова Н. Н., Менькина Е. А., Ахмедшина Д. А. Диагностические показатели обеспеченности почвы элементами питания для формирования высокой урожайности озимой пшеницы. Достижения науки и техники АПК. 2022;36(5):5–10. DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_5 EDN: JXJTLM
11. Кравченко Р. В., Архипенко А. А. Оптимизация минерального питания при минимализации основной обработки почвы в технологии возделывания озимой пшеницы. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2019;(80):150–155. DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-80-150-155> EDN: EMKSBA
12. Камилов Б. С., Джаббаров Ш. Р., Бекназаров Д. Н. Влияние листовой подкормки на качество зерна озимой пшеницы в типичных сероземах с орошаемыми условиями. Бюллетень науки и практики. 2022;(4):207–211. DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/77/24> EDN: CWUIRU
13. Пигорев И. Я., Кудинов В. А., Бирюков Г. А. Влияние макро- и микроудобрений на фитосанитарное состояние посевов озимой пшеницы. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(8):80–89. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47324378> EDN: QTLOJW
14. Гриб С. И., Берестов И. И., Мельников Р. В. Урожайность сортов пшеницы яровой мягкой и элементы ее структуры при разном уровне азотного питания растений. Земледелие и селекция в Беларуси. 2018;(54):68–75. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35647223> EDN: YABKQH
15. Ведров Н. Г. Селекция и семеноводство яровой пшеницы в экстремальных условиях. Красноярск: Изд-во Краснояр. ун-та, 1984. 239 с.
16. Фадеева И. Д., Курмакаев Ф. Ф., Саубанова Г. Р. Формирование качества зерна сортами озимой пшеницы. Зернобобовые и крупяные культуры. 2024;(3):41–47. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-3-41-47> EDN: MLQRMK

17. Коваленко С. А., Грабовец А. И., Кадушкина В. П. Корреляционные взаимосвязи между урожаем и элементами его структуры у сортов яровой твердой пшеницы сортов донской селекции. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(5(67)):31–33.
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30547753> EDN: ZSMJVT
18. Казаков Г. И., Марковский А. А. Обработка почвы в лесостепи Заволжья. Земледелие. 2011;(8):28–29.
19. Бакаева Н. П., Салтыкова О. Л. Продуктивность яровой пшеницы в зависимости от способа основной обработки почвы и удобрений. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(3):3–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39192654> EDN: XСJHСJ
20. Бакаева Н. П. Влияние погодных условий, систем обработки почвы и удобрений на структуру урожая и качество зерна яровой пшеницы. Известия Самарской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(4):12–19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41234901> EDN: OXVYWS
21. Магарилл К. А. Влияние приемов основной обработки почвы на структуру урожая яровой твердой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья. Вклад молодых ученых в аграрную науку: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Кинель: РИЦ СГСХА, 2016. С. 110–112.
22. Филин В. И., Беляков А. М. Озимая пшеница в Нижнем Поволжье. Волгоград: ВолГУ, 2006. 258 с.

References

1. Belous N. M., Torikov V. E., Shpilev N. S., Mel'nikova O. V., Malyavko G. P., Naumova M. P., Nesterenko O. M. Winter grain crops: biology and cultivation technologies. Bryansk: *Bryanskiy GAU*, 2010. 137 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=tvjyuv>
2. Goryanin O. I., Goryanina T. A. Efficiency of crop growing in steppe zone of zavolzhye. *Vestnik Saratovskogo gosagrouniversiteta im. N. I. Vavilova* = The Bulletin of Saratov State Agrarian University in honor of N. I. Vavilov. 2013;(11):19–22. (In Russ.).
3. Fedorenko V. F., Sapozhnikov S. N., Petukhov D. A., Challygin M. E., Sviridova S. A., Altukhov A. I. et al. Scientific foundations for the production of high-quality wheat grain. Moscow: Rosinformagrotekh, 2018. 396 p. DOI: <https://doi.org/10.25930/skc8-gc14>
4. Solodovnikov A. P., Levkina A. Yu. The influence of soil cultivation methods and agrochemicals on the productivity and quality of winter wheat grain in the Saratov Trans-Volga region. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(3):29–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i3pp29-35>
5. Lapshinov N. A., Pakul V. N., Bozhanova G. V., Kuksheneva T. P. Accumulation and preservation of productive moisture in resource-saving. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2013;(4-1(11)):131–134. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=19029425>
6. Raimanova I. The effects of differentiated water supply after anthesis and nitrogen fertilization on 15N of wheat grain. *Haberle. Rapid Communications in Mass Spectrometry*. 2010;24(3):261–266. DOI: <https://doi.org/10.1002/rcm.4382>
7. Kozlova L. M., Rubtsova N. E., Soboleva N. N. Experience of design and approaches to improving adaptive farming systems on the landscape basis in the central zone of the North-eastern region of the European part of Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2016;(5):56–62. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26605314>
8. Emel'yanova A. A., Dubovik D. V., Aydiev A. Ya., Logvinova V. E. Changes in the yield and quality of winter wheat grain depending on the variety and doses of mineral fertilizers. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(11):26–30. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_11_26
9. Gureev I. I., Gostev A. V., Nitchenko L. B., Luk'yanov V. A., Khlyupina S. V., Prushchik I. A. Agroecological assessment of the technology for the winter wheat grain production under the conditions of the Central Black Earth region. *Zemledelie*. 2022;(6):37–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-37-40>
10. Shapovalova N. N., Men'kina E. A., Akhmedshina D. A. Diagnostic indicators of soil supply with nutrients for the formation of high yield of winter wheat. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2022;36(5):5–10. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.53859/02352451_2022_36_5_5
11. Kravchenko R. V., Arkhipenko A. A. Optimization of mineral nutrition at minimization of the basic soil treatment in the technology of cultivation of winter wheat. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2019;(80):150–155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-80-150-155>
12. Kamilov B. S., Dzhabborov Sh. R., Beknazarov D. N. Foliar fertilization effect on winter wheat grain quality in typical gray soils with irrigated conditions. *Byulleten' nauki i praktiki* = Bulletin of Science and Practice. 2022;(4):207–211. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33619/2414-2948/77/24>
13. Pigorev I. Ya., Kudinov V. A., Biryukov G. A. The effect of macro and micro fertilizers on the phytosanitary condition of winter wheat crops. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2021;(8):80–89. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47324378>

14. Grib S. I., Berestov I. I., Melnikov R. V. Yield of spring soft wheat cultivars and yield structure elements at different levels of plant nitrogen nutrition. *Zemledelie i selektsiya v Belarusi* = Arable Farming and Plant Breeding in Belarus. 2018;(54):68–75. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35647223>
15. Vedrov N. G. Breeding and seed production of spring wheat in extreme conditions. Krasnoyarsk: *Izd-vo Krasnoyar. un-ta*, 1984. 239 p.
16. Fadeeva I. D., Kurmakaev F. F., Saubanova G. R. Formation of grain quality by winter wheat varieties. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2024;(3):41–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2024-3-41-47>
17. Kovalenko S. A., Grabovets A. I., Kadushkina V. P. Correlation interconnection between yield and its structure elements in hard spring wheat varieties of don selection. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2017;(5(67)):31–33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30547753>
18. Kazakov G. I., Markovskiy A. A. Soil treatment in Trans-Volga river forest-steppe zone. *Zemledelie*. 2011;(8):28–29. (In Russ.).
19. Bakaeva N. P., Saltykova O. L. The productivity of spring wheat depending on ways of basic soil cultivation and fertilizers. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2019;(3):3–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39192654>
20. Bakaeva N. P. Influence of weather conditions, soil processing systems and fertilizers on the yield and quality structure of spring wheat. *Izvestiya Samarskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin Samara State Agricultural Academy. 2019;(4):12–19. (In Russ.) URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41234901>
21. Magarill K. A. The influence of basic tillage techniques on the structure of the spring durum wheat crop in the forest-steppe of the Middle Volga region. The contribution of young scientists to agricultural science: Proceedings of the international scientific and practical conference. Kinel': *RITs SGSKhA*, 2016. pp. 110–112.
22. Filin V. I., Belyakov A. M. Winter wheat in the Lower Volga region. Volgograd: *VolGU*, 2006. 258 p.

Сведения об авторах

✉ **Носкова Евгения Николаевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д.166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Софронова Ангелина Юрьевна, младший научный сотрудник лаборатории земледелия, агрохимии и кормопроизводства ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

Светлакова Елена Вячеславовна, младший научный сотрудник лаборатории земледелия, агрохимии и кормопроизводства, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 166а, ул. Ленина, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

Information about the authors

✉ **Eugenia N. Noskova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Agriculture, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str, 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4685-7865>

Angelina Yu. Sofronova, junior researcher, the Laboratory of Agriculture, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7153-7970>

Elena V. Svetlakova, junior researcher, the Laboratory of Agriculture, Agrochemistry and Fodder Production, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4904-697X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Эффективность кремнийсодержащих препаратов при выращивании картофеля

© 2025. Ю. Д. Смирнова✉, Н. В. Фомичева

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт им. В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

Внедрение биологических средств в растениеводство для защиты, регулирования роста и повышения устойчивости культур к биотическим и абиотическим стрессам становится все более распространенным. Цель исследования – изучить влияние кремнегуминовых препаратов на урожайность картофеля и микробиологическую активность почвы. Исследования проводили в условиях Тверской обл. в 2020–2022 гг. В опыте испытывали кремниевый (раствор силиката натрия) и кремнегуминовые препараты, разработанные во Всероссийском НИИ мелиорируемых земель (БоГум-С, наноБоГум-С). Для получения нанопрепаратов применяли метод ультразвукового диспергирования. Препараты использовали для обработки клубней перед посадкой (ОК) в концентрациях 0,5; 1,0 % и двукратной некорневой обработки (НО) растений картофеля сорта Скарб в фазы «всходы» и «бутонизация». Наибольший прирост урожайности картофеля в среднем за три года относительно контроля (без обработок) отмечали в варианте с применением наноразмерного кремнегуминового препарата наноБоГум-С (ОК, 1,0 % + НО) – 1,7 т/га, или 9,7 %. Статистически значимые прибавки урожайности картофеля в этом варианте получены во все годы испытаний. Рост урожайности обусловлен увеличением доли средней фракции картофеля за счет снижения мелкой. В основные фазы развития растений картофеля проводили учет численности автохтонных, аммонифицирующих и фосфатмобилизирующих микроорганизмов в почве методом предельных разведений на агаризованных питательных средах. Обработка клубней картофеля препаратами способствовала активизации указанных групп микроорганизмов, наибольшая их численность отмечена в варианте с применением наноБоГум-С (ОК, 1,0 % + НО). Численность указанных групп микроорганизмов возросла в фазу «всходы» практически в два раза, в фазу «цветение» прирост аммонифицирующей микрофлоры составил 36 %, фосфатмобилизующей – 43 %. Активизация автохтонных микроорганизмов оказывала влияние на содержание легкогидролизуемого азота в почве. При применении кремнийсодержащего препарата наноSi отмечали повышение численности фосфатмобилизирующих микроорганизмов и снижение активности аммонифицирующих и автохтонных.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., урожайность, кремний, гуминовые препараты, микроорганизмы

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (тема № FGUR-2022-0017).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Смирнова Ю. Д., Фомичева Н. В. Эффективность кремнийсодержащих препаратов при выращивании картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1069–1076.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1069-1076>

Поступила: 03.02.2025

Принята к публикации: 26.09.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

The effectiveness of silicon-containing preparations in potato growing

© 2025. Yulia D. Smirnova✉, Natalia V. Fomicheva

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

The introduction of biological agents in crop production for protection, growth regulation and increasing crop resistance to biotic and abiotic stresses is becoming increasingly common. The aim of the study was to investigate the effect of siliceous humic preparations on potato yield and soil microbiological activity. The studies were conducted in the Tver region from 2020 to 2022. The experiments tested silicon (sodium silicate solution) and siliceous humic preparations developed at the All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands (BoHum-S, nanoBoHum-S). Ultrasonic dispersion was used to obtain nanopreparations. The preparations were applied to tubers before planting (OK) at concentrations of 0.5 and 1.0 % and as a two-time foliar treatment (HO) of 'Skarb' potato plants during the "seedlings" and "budding" phases. The greatest increase in potato yield on average over three years relative to the control (without treatment) was noted in the variant using the nanosized silica-humic preparation nanoBoHum-S (OK, 1.0% + HO) – 1.7 t/ha, or 9.7 %. Statistically significant increases in potato yield in this variant were obtained in all years of testing. The yield increase is due to the increase in the share of the medium potato fraction due to the decrease in the small one. During the main phases of potato plant development, the number of autochthonous, ammonifying and phosphate-mobilizing microorganisms in the soil was counted using the limiting dilution method on agar nutrient media. Treatment of potato tubers with preparations contributed to the activation of the said microorganisms, their highest number was noted in the variant with the use of nanoBoHum-S (OK, 1.0% + HO). The number of the said microorganisms increased almost twofold in the germination phase, in the flowering phase the increase in ammonifying microflora was 36 %, phosphate-mobilizing – 43 %. Activation of autochthonous microorganisms affected the content of easily hydrolyzed

nitrogen in the soil. When using the silicon-containing preparation nanoSi, an increase in the number of phosphate-mobilizing microorganisms and a decrease in the activity of ammonifying and autochthonous ones were noted.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., yield, silicon, humic preparations, microorganisms

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (No. FGUR-2022-0017).

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

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

For citation: Smirnova Yu. D., Fomicheva N. V. The effectiveness of silicon-containing preparations in potato growing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1069–1076. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1069-1076>

Received: 03.02.2025

Accepted for publication: 26.09.2025

Published online: 31.10.2025

Современные вызовы, связанные с заботой о почве и экологии, требуют биологизации производства сельскохозяйственных культур [1, 2]. Исследователи во всем мире отмечают, что применение минеральных удобрений и пестицидов, даже в невысоких дозах, оказывает неблагоприятное воздействие на почвенный покров, состояние её микрофлоры и мезофауны, и как результат, на качество продукции [3, 4, 5].

Все чаще в производство сельскохозяйственных культур внедряют биологические средства интенсификации, выполняющие защитные, рострегулирующие функции и повышающие устойчивость культур к биотическим и абиотическим стрессам [6, 7, 8]. Положительное влияние на сельскохозяйственные культуры российские и зарубежные исследователи отмечают в отношении всех групп разрабатываемых препаратов: гуминовых, микробиологических, комплексных и других.

Определенный интерес в последние годы наблюдается в отношении препаратов, содержащих кремний, изучается их эффективность для некорневого питания растений и предпосевной обработки семян. В работе Е. В. Безручко и Л. С. Федотовой [9] представлен аналитический материал по применению в России и зарубежом различных кремниевых препаратов при выращивании картофеля. Показано, что все формы кремния способствовали росту урожайности картофеля, повышению его качественных характеристик, стрессоустойчивости культуры.

Использование Силипланта, содержащего 7 % кремния, приводило к повышению урожайности сортов картофеля Утенок, Иван-да-Марья, Ароза на 36,4; 16,1; 29,1 % соответственно и фотосинтетического потенциала посадок [10].

Положительное влияние на урожайность и качество клубней картофеля препарата АпаСил (APASIL), который содержит аморфные формы диоксида кремния в количестве не

менее 31,5 %, показано в работах Воронежского ГАУ [11].

Все исследования, проведенные лабораторией агрохимии и биохимии ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха» с разными кремниевыми препаратами на растениях картофеля, показали хорошую их эффективность. Применение препаратов Форрис и АпаСил обеспечивало примерно равные максимальные прибавки урожайности картофеля на уровне 15 %. Высокий прирост урожайности картофеля отмечен также при внесении перед посадкой цеолита в дозе 5000 кг/га и составил в среднем 9,8 т/га, или 62,4 % по сравнению с вариантом без удобрений [12].

Зарекомендовали себя комплексные препараты, в частности кремнегуминовые, эффективность которых показана на различных сельскохозяйственных культурах. Применение жидкого гуминового экстракта с активным кремнием EсоGrow для обработки клубней картофеля сорта Гала и дальнейшей двукратной подкормки растений способствовало росту урожайности культуры на 39,38 %. Также установлено повышение общей биогенности чернозема, увеличение содержания в клубнях картофеля сухого вещества, крахмала и витамина С [13].

Цель исследования – изучить влияние кремнийсодержащих препаратов на урожайность картофеля и микробиологическую активность почвы.

Научная новизна – в климатических условиях Тверской области изучена эффективность новых кремнегуминовых препаратов для обработки клубней и вегетирующих растений картофеля, рассмотрено влияние кремнегуминовых препаратов на численность агрономически значимой микрофлоры.

Материал и методы. Исследования проводили на агрополигоне Губино Всероссийского научно-исследовательского института мелиорированных земель (ВНИИМЗ) – филиале

ФИЦ «Почвенный институт им. В. В. Докучаева» (Тверская область) в мелкоделянчном опыте в 2020–2022 гг. на посадках картофеля сорта Скарб. В опыте применяли комплексное минеральное удобрение общим фоном в дозе $N_{65}P_{65}K_{65}$, предшественник – яровая пшеница. Почва опыта дерново-подзолистая среднекислая pH 4,95–5,05, с содержанием гумуса 2,0–2,3 % (по методу Тюрина), Нлг 44,8–45,5 мг/кг (по методу Корнфилда), P_2O_5 – 205–230 мг/кг и K_2O – 134–182 мг/кг почвы (по методу Кирсанова).

В опыте исследовали следующие препараты:

1. Раствор силиката натрия, обработанный ультразвуком (УЗ) – наноSi: содержание SiO_2 – 0,1 %.

2. Кремнегуминовый препарат БоГум-С (разработка ВНИИМЗ): содержание SiO_2 – 0,1 %, гуминовых кислот – не менее 10 г/л, pH – не более 9, сухого остатка – не менее 20 г/л.

3. Кремнегуминовый препарат БоГум-С, обработанный ультразвуком – наноБоГум-С.

Для обработки препаратов УЗ использовали ультразвуковой гомогенизатор Sonopulse HD 3200 (Bandelin electronic, Германия) с системой управления Amplichron®, время воздействия – 20 мин.

Препараты применяли для обработки клубней (ОК) перед посадкой и двукратной некорневой обработки вегетирующих растений картофеля (НО). Обработку клубней проводили препаратами наноSi и БоГум-С раствором 1,0%-й концентрации, наноБоГум-С – 0,5 и 1,0%-й (расход рабочего раствора 50 л/т семян). Некорневую обработку вегетирующих растений осуществляли по фазам «всходы» и «бутонизация» в единой норме расхода 1 л/га (расход рабочего раствора 300 л/га). Контролем служил вариант без обработок. Повторность опыта четырехкратная, расположение делянок систематическое.

В фазы «всходы» и «цветение» растений картофеля исследовали содержание автохтонных, аммонифицирующих и фосфатмобилизующих микроорганизмов в почве. Учет численности осуществляли методом посева на твердые питательные среды¹, соответственно нитритном агаре, мясо-пептонном агаре, среде Менкиной (в качестве единственного источника фосфора использовался лецитин)².

Учетная площадь делянки – 10 м², уборку урожая проводили со всей площади делянки.

Статистическую обработку данных осуществляли с помощью компьютерной программы Microsoft Excel 2019. Статистическую достоверность различий урожайности оценивали по значениям наименьшей существенной разницы (НСР) при 5%-ом уровне значимости. На рисунках представлены среднеарифметические значения показателей со стандартным отклонением, достоверность результатов оценивали по критерию Стьюдента.

Результаты и их обсуждение. Анализ препаратов на анализаторе размера частиц 90 Plus/MAS (Brookhaven Instruments, США) свидетельствовал о снижении размера частиц под влиянием УЗ воздействия (табл. 1): отмечено уменьшение всех исследуемых параметров и достижение наноуровня. В свою очередь, это обстоятельство указывает на увеличение биодоступности препаратов и направлено на повышение их эффективности.

Урожайность картофеля при внесении невысоких доз минеральных удобрений получена в опыте на уровне среднестатистической для данной культуры по Тверской области – 17,6–19,3 т/га (табл. 2).

Анализ данных по урожайности картофеля показал, что применение препаратов в течение трехлетнего периода увеличило продуктивность культуры по сравнению с контрольной группой. Наиболее существенное статистически значимое воздействие на урожайность наблюдали при использовании препаратов, подвергнутых ультразвуковой обработке. В частности, максимальное увеличение общей урожайности в среднем за три года было зафиксировано при использовании наноБоГум-С при обработке клубней 1,0%-м раствором (табл. 2) – прибавка урожая составила 1,7 т/га, или 9,7 %. В остальных вариантах применения кремнегуминовых препаратов в среднем за три года получена близкая урожайность, прибавка составила 1,1–1,3 т/га, или 6,2–7,4 %. Необходимо отметить, что в варианте с некорневой обработкой вегетирующих растений картофеля препаратом НаноSi (0,1%-й раствор силиката натрия, подвергнутый УЗ воздействию) прирост урожайности составил 5,1 %, что было немного меньше, чем от кремнегуминового БоГум-С. Полученные результаты согласуются с данными о положительном влиянии препаратов, содержащих кремний, на рост и развитие картофеля [12, 13, 14].

¹Методы почвенной микробиологии и биохимии: учебное пособие. Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: МГУ, 1991. 304 с.

²Сэги Й. Методы почвенной микробиологии. Пер. с венг. И. Ф. Куренного. М.: Колос, 1983. 296 с.

Таблица 1 – Изменение размеров частиц препаратов под влиянием ультразвукового воздействия /
Table 1 – Changes in sizes of preparation particles under the influence of ultrasound

Препарат / Preparation	Эффективный диаметр, нм / Effective diameter, nm			Минимальный размер частиц, нм / Minimum particle size, nm			Средний диаметр, нм / Average diameter, nm		
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
БоГум-С / BoHum-S	374	276	350	114	85	120	545	425	532
наноБоГум-С / nanoBoHum-S	235	193	221	75	40	82	301	242	296
наноSi / nanoSi	-	239	168	-	78	72	-	292	252

Таблица 2 – Влияние кремнийсодержащих препаратов на урожайность картофеля сорта Скарб /
Table 2 – The influence of silicon-containing preparations on the yield of the ‘Skarb’ potato cultivar

Препарат / Preparation	Урожайность, т/га / Yield, t/ha				Соотношение фракций клубней в кусте / The ratio of tuber fractions in a bush ≥100 г: 100–50 г: ≤50 г	
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	среднее / average	количество / quantity	масса / weight
Контроль / Control	18,6	17,3	15,7	17,6	0,22:0,47:0,31	0,45:0,44:0,11
наноSi / nanoSi (OK, 1,0 % + HO)	–	18,4	17,3	18,5	0,22:0,56:0,21	0,45:0,47:0,08
БоГум-С / BoHum-S (OK, 1,0 % + HO)	19,8	18,2	16,7	18,7	0,19:0,53:0,28	0,37:0,51:0,12
наноБоГум-С / nanoBoHum-S (OK, 0,5 % + HO)	19,1	19,0	17,3	18,9	0,21:0,48:0,30	0,42:0,47:0,10
наноБоГум-С / nanoBoHum-S (OK, 1,0 % + HO)	20,4	18,3	17,9	19,3	0,22:0,51:0,27	0,43:0,48:0,09
HCP ₀₅ / LSD ₀₅	0,96	0,87	0,84	-	-	-

Примечания: OK – обработка клубней; HO – некорневая обработка /
Notes: OK – tuber treatment; HO – non-root treatment

Применение всех кремнийсодержащих препаратов повлияло на структуру урожая. В вариантах с наноразмерными препаратами НаноSi, наноБоГум-С (особенно при использовании 1,0%-го раствора для обработки клубней) наблюдали повышение доли средней фракции, которое происходило за счет снижения количества мелкого картофеля. Другими словами, указанные препараты наряду с повышением урожайности увеличивали товарность картофеля. В то же время использование препарата БоГум-С также значительно увеличило долю средней фракции клубней, но за счет снижения массы крупных клубней с куста на 18 %.

Полученный повышенный урожай от применения наноразмерного кремнегуминового препарата определялся синергетическим эффектом – сочетанием влияния гуминовых веществ и кремния, а также активизацией почвенной микрофлоры.

При детальном рассмотрении содержания микроорганизмов в зависимости от фазы развития растений выявлено статистически значимое увеличение всех изучаемых групп

микроорганизмов в фазе «всходы» в варианте с обработкой клубней наноБоГум-С в концентрации 1,0 % (рис.) – численность аммонифицирующих, автохтонных и фосфатмобилизующих микроорганизмов возросла практически в два раза по сравнению с вариантом без обработки.

Некорневая подкормка наноразмерными кремнегуминовыми препаратами посадок картофеля способствовала активизации аммонифицирующей микрофлоры в фазу «цветение»: прирост численности составил 21–36 % (рис. а). Повышение общей биогенности почвы в результате обработки клубней и вегетирующих растений кремнегуминовым препаратом отмечается и в работе [13]: препарат EcoGrow способствовал увеличению общей численности почвенной микрофлоры на 1,48–17,67 млн КОЕ/г. Значительное увеличение численности микроорганизмов в ризосфере картофеля при применении гуминовых и кремниевых препаратов (на 42–92 % по отношению к контролю) описано и другими авторами [15].

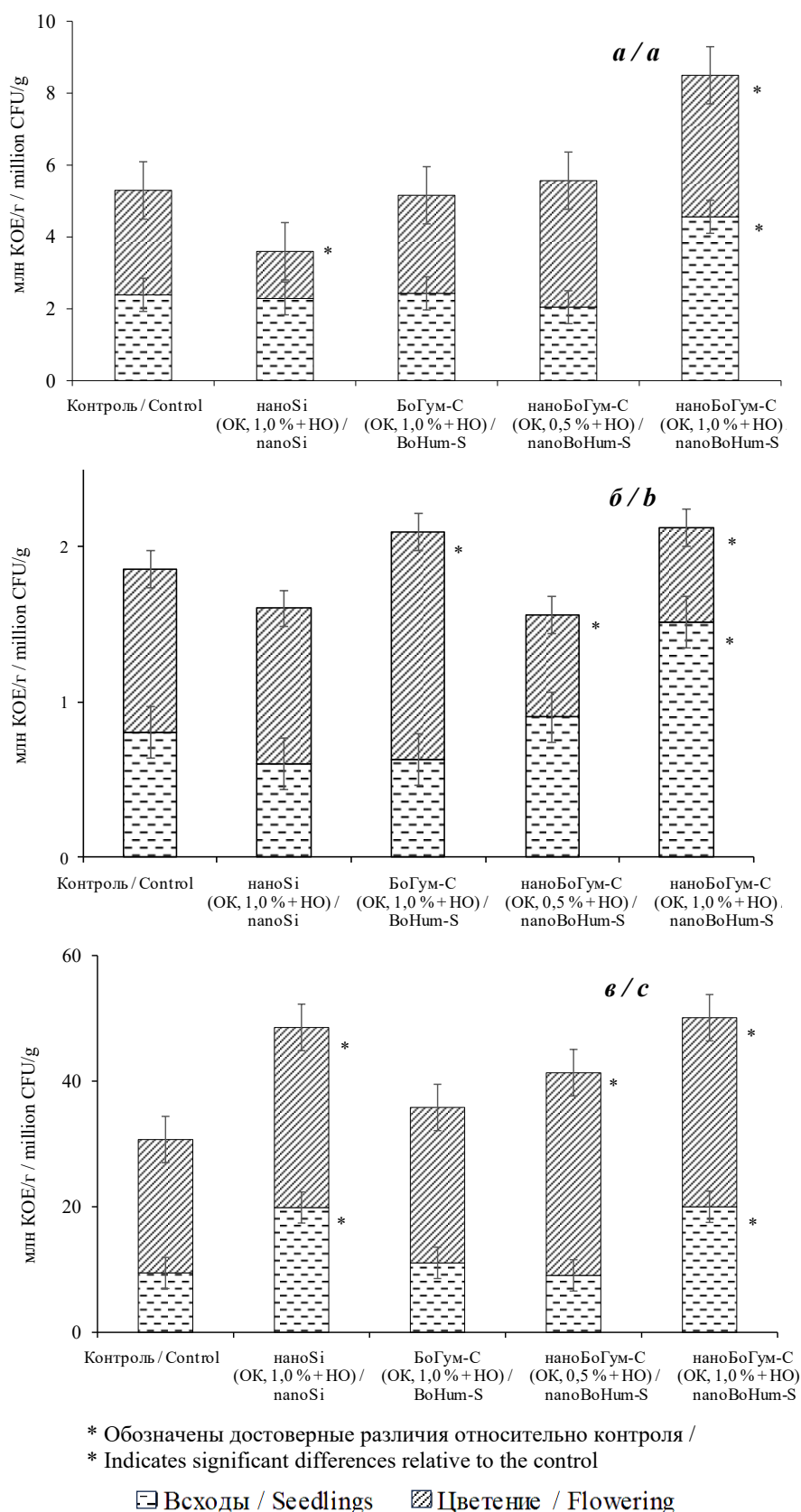


Рис. Влияние кремнийсодержащих препаратов на содержание групп микроорганизмов в почве по фазам развития картофеля сорта Скарб: а – аммонифицирующие; б – автохтонные; в – фосфатмобилизующие (в среднем за 2020–2022 гг.) /

Fig. The influence of silicon-containing preparations on the content of microorganism groups in the soil according to the development phases of the 'Skarb' potato cultivar: а – ammonifying; б – autochthonous; в – phosphate-mobilizing (average for 2020–2022)

Автохтонные микроорганизмы играют ключевую роль в преобразовании азота гумусовых кислот, что, в свою очередь, оказывает влияние на содержание легкогидролизуемого азота в почве. Активизация данной группы микроорганизмов в фазу «всходы» картофеля способствовала повышению количества азота в почве варианта с наноБоГум-С (ОК 1,0 % + НО) – $57,4 \pm 2,8$ мг/кг почвы, в контрольном варианте – $37,8 \pm 2,3$ мг/кг. В фазу «цветение» отмечается противоположная ситуация – достоверное снижение их численности в вариантах с кремнегуминовыми препаратами относительно контроля, что косвенно может свидетельствовать о затухании процессов минерализации гумуса. Данная тенденция наблюдается и по содержанию легкогидролизуемого азота. В конце вегетационного периода его количество во всех опытных вариантах было ниже контрольного: контроль – $49,7 \pm 2,1$ мг/кг; наноSi (ОК 1,0 % + НО) – $45,7 \pm 1,9$ мг/кг; БоГум-С (ОК 1,0 % + НО) – $47,6 \pm 1,6$ мг/кг; наноБоГум-С (ОК 0,5 % + НО) – $37,1 \pm 2,3$ мг/кг; наноБоГум-С (ОК 1,0 % + НО) – $23,4 \pm 1,8$ мг/кг. Как видно, минимальное значение легкогидролизуемого азота было зафиксировано в вариантах с использованием наноразмерных кремнегуминовых препаратов, что связано как с большим выносом азота урожаем картофеля, так и снижением активности автохтонных микроорганизмов. Подобные рассуждения приводятся и в статье [16].

Применение всех препаратов способствовало активному развитию фосфатмобилизующих микроорганизмов, при этом препараты, обработанные УЗ, увеличивали общую численность микроорганизмов на 37–67 % по сравнению с контролем (рис. в). Наиболее значимые изменения отмечены в фазу «цветение». Влияние препаратов кремния на активизацию трансформации фосфорных соединений подробно рассмотрена в работе [17], в которой исследователи связывают повышение подвиж-

ных форм фосфора с реакцией замещения в почвах фосфат-анионов на силикат-анионы при внесении активных форм кремния.

Применение кремнийсодержащего препарата наноSi оказывало неоднозначное влияние на активность почвенной микрофлоры – отмечали значительное увеличение численности фосфатмобилизующих микроорганизмов, снижение численности аммонифицирующих и автохтонных. Поэтому можно предположить, что на активизацию аммонифицирующих и автохтонных микроорганизмов при применении кремнегуминовых препаратов оказывала влияние гуминовая составляющая.

Анализ качества клубней картофеля свидетельствовал, что содержание нитратов находилось ниже уровня ПДК. Можно отметить статистически значимое снижение содержания крахмала в вариантах с применением кремнегуминовых препаратов: в контрольном варианте на 16,82 отн.%; с применением БоГум-С и наноБоГум-С в среднем на 15,75 отн.%.

Заключение. Таким образом, выращивание картофеля сорта Скарб в течение 2020–2022 гг. с использованием кремнийсодержащих препаратов показало, что наибольший прирост урожайности картофеля отмечался в варианте с применением наноразмерного кремнегуминового наноБоГум-С. Обработка клубней 1,0 %-м раствором в сочетании с двукратной некорневой подкормкой вегетирующих растений картофеля наноБоГум-С в дозе 1 л/га, выращиваемых по фону минеральных удобрений ($N_{65}P_{65}K_{65}$), позволила увеличить урожайность картофеля на 1,7 т/га, или 9,7 %. Показано, что применение ультразвукового диспергирования способствовало значительному уменьшению размера частиц тестируемых препаратов, что в совокупности с активизацией микробиологических процессов в почве положительно сказалось на урожайности картофеля и его структуре.

Список литературы

1. Савченко Е. С., Кирюшин В. И., Лукин С. В. Опыт биологизации агротехнологий при освоении адаптивно-ландшафтных систем земледелия в Белгородской области. Международный сельскохозяйственный журнал. 2022;(6):658–661. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_658 EDN: ULEHDN
2. Jamil I., Syeda F. E. B., Adeela A., Muhammad R., Javaid H., Syeda U. B. et al. Soil health and environmental sustainability: a comprehensive review of functions, challenges, and conservation practices. Annals of plant sciences. 2024;13(11):6574–6591. DOI: <https://doi.org/10.21746/aps.2024.13.11.2>
3. Baweja P., Kumar S., Kumar G. Fertilizers and Pesticides: Their impact on soil health and environment. Soil Health. 2020;59:265–285. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_15
4. Mustafaoglu D. Pesticides negative effects on soil-water-air cycle and alternative approaches. International Journal of Engineering Science and Technology. 2023;20:3537–3560. DOI: <https://doi.org/10.17366/uhmfd.2023.20.1>
5. Зеленская Т. Г., Коровин А. А., Безгина Ю. А., Округ С. В., Лысенко И. О. Новые технологии в растениеводстве как условие экологической и продовольственной безопасности. Вестник АПК Ставрополя. 2022;(1(45)):32–36. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48768692> EDN: FKKTXX

6. Юрина Т. А., Белик М. А., Негреба О. Н., Ермаков А. А. Повышение урожайности сельскохозяйственных культур при частичной биологизации производства. Техника и оборудование для села. 2023;(4):22–24. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-22-24> EDN: ONQFGO
7. Zanirov A., Leshkenov A., Utkin A. The influence of agricultural biologization means on the content of essential amino acids in winter wheat grain. III International Scientific and Practical Conference «Concept of Sustainable Development: Agriculture and Environment» (TAEE-III-2024). 2024;118:01029. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411801029>
8. Rosa A., Dudek M., Siemiński P., Sadowski A., Bartosik S., Kaczmarek P. et al. Biologization: the key to sustainable agriculture. Catalogue of good practices. Warsaw: Institute of Rural and Agricultural Development, Polish Academy of Sciences (Publ.), 2022. 82 p. DOI: <https://doi.org/10.53098/978-83-89900-69-2>
9. Безручко Е. В., Федотова Л. С. Доступный для растений кремний – фактор устойчивого производства картофеля (обзор). Агрохимия. 2021;(8):70–81. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121080032> EDN: ANZXDP
10. Захаров Е. А., Петров Н. Ю., Кузнецова Е. А., Петров Ю. Н., Кузнецова Н. В., Горбачева Ю. И. Применение Силипланта как регулятора роста при возделывании картофеля в аридной зоне Северного Прикаспия. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2024;(2(74)):103–108. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-02-12> EDN: EBMHOV
11. Кольцова О. М., Стекольников Н. В. Качество картофеля при применении кремний содержащего агрохимиката АпаСил (APASIL). Современные достижения и перспективы развития агрономической науки: мат-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. Десятилетию науки и технологий в Российской Федерации. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2023. С. 67–74. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61176413> EDN: MKIQJF
12. Безручко Е. В., Федотова Л. С., Тимошина Н. А., Князева Е. В., Арсентьев И. А. Кремниевые удобрения в технологии выращивания картофеля. Научные труды по агрономии. 2023;(1-2):5–15. DOI: <https://doi.org/10.35244/2658-7963-2023-8-1-5-15> EDN: WDHTDH
13. Ступина Л. А., Косачев И. А., Антонова О. И., Комякова Е. М., Курсакова В. С., Третьякова М. Н. Эффективность применения органоминерального удобрения есогров при возделывании картофеля. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2023;(10(228)):35–43. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-228-10-35-43> EDN: MRUTXW
14. Гранкина А. О., Пэлий А. Ф., Носов В. В., Демидов Д. В., Стеркин М. В. Применение нового кремнийсодержащего агрохимиката от Фосагро на картофеле Нечерноземной зоны. Картофель и овощи. 2021;(7):26–28. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.19.13.005> EDN: DCHAKO
15. Черемисин А. И., Кумпан В. Н. Изучения влияния применения биопрепаратов и стимуляторов роста на полезную микрофлору и продуктивность картофеля. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018;13(4):91–95. DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c3de390ad4cc9.66646319 EDN: YWHBVR
16. Kozlov A. V., Uromova I. P., Mashakin A. M., Novikov D. A. The change of the condition of saprotrophic part of the microbic pool of the soil under the influence of silicon preparations. Modern problems of science and education. 2015;(2(part 1)):560–560. URL: <https://science-education.ru/en/article/view?id=18791>
17. Матыченков И. В., Пахненко Е. П. Изменение содержания подвижных фосфатов почвы при внесении активных форм кремния. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2013;(3(23)):24–28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20360811> EDN: RDOLLD

References

1. Savchenko E. S., Kiryushin V. I., Lukin S. V. Experience of biologization of agricultural technologies during the development of adaptive-landscape agricultural systems in Belgorod region. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2022;(6):658–661. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2022_65_6_658
2. Jamil I., Syeda F. E. B., Adeela A., Muhammad R., Javaid H., Syeda U. B. et al. Soil health and environmental sustainability: a comprehensive review of functions, challenges, and conservation practices. *Annals of plant sciences*. 2024;13(11):6574–6591. DOI: <https://doi.org/10.21746/aps.2024.13.11.2>
3. Baweja P., Kumar S., Kumar G. Fertilizers and Pesticides: Their impact on soil health and environment. *Soil Health*. 2020;59:265–285. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-030-44364-1_15
4. Mustafaoglu D. Pesticides negative effects on soil-water-air cycle and alternative approaches. *International Journal of Engineering Science and Technology*. 2023;20:3537–3560. DOI: <https://doi.org/10.17366/uhmfd.2023.20.1>
5. Zelenskaya T. G., Korovin A. A., Bezgina Yu. A., Okrut S. V., Lysenko I. O. New technologies in crop production as a condition for environmental and food security. *Vestnik APK Stavropol'ya* = Agricultural Bulletin of Stavropol Region. 2022;(1(45)):32–36. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48768692>
6. Yurina T. A., Belik M. A., Negreba O. N., Ermakov A. A. Increasing crop yields with partial biologization of production. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela* = Machinery and Equipment for Rural Area. 2023;(4):22–24. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2023-4-22-24>
7. Zanirov A., Leshkenov A., Utkin A. The influence of agricultural biologization means on the content of essential amino acids in winter wheat grain. III International Scientific and Practical Conference «Concept of Sustainable Development: Agriculture and Environment» (TAEE-III-2024). 2024;118:01029. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/202411801029>

8. Rosa A., Dudek M., Siemiński P., Sadowski A., Bartosik S., Kaczmarek P. et al. Biologization: the key to sustainable agriculture. Catalogue of good practices. Warsaw: Institute of Rural and Agricultural Development, Polish Academy of Sciences (Publ.), 2022. 82 p. DOI: <https://doi.org/10.53098/978-83-89900-69-2>
9. Bezruchko E. V., Fedotova L. S. Plant-friendly silicon – a factor in sustainable potato production. *Agrokimiya*. 2021;(8):70–81. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121080032>
10. Zakharov E. A., Petrov N. Yu., Kuznetsova E. A., Petrov Yu. N., Kuznetsova N. V., Gorbacheva Yu. I. The use of Siliplant as a growth regulator in potato cultivation in the arid zone of the Northern Caspian region. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2024;(2(74)):103–108. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2024-02-12>
11. Koltsova O. M., Stekolnikova N. V. Quality of potatoes when using silicon containing agrochemicals apasil (Apsil). Modern achievements and prospects for the development of agronomic science: Proceedings of the international scientific and practical conference, dedicated to the Decade of Science and Technology in the Russian Federation. Voronezh: *Voronezhskiy GAU im. Imperatora Petra I*, 2023. pp. 67–74. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=61176413>
12. Bezruchko E. V., Fedotova L. S., Timoshina N. A., Knyazeva E. V., Arsent'ev I. A. Silicon fertilizers in potato technology. *Nauchnye trudy po agronomii* = Research papers on agronomy. 2023;(1-2):5–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35244/2658-7963-2023-8-1-5-15>
13. Stupina L. A., Kosachev I. A., Antonova O. I., Komyakova E. M., Kursakova V. S., Tretyakova M. N. Effectiveness of organo-mineral fertilizer ecogrow application in potato growing. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2023;(10(228)):35–43. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2023-228-10-35-43>
14. Grankina A. O., Peliy A. F., Nosov V. V., Demidov D. V., Sterkin M. V. The use of a novel silicon-containing agrochemical produced by phosagro to potato in the Non-chernozem zone of Russia. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2021;(7):26–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.19.13.005>
15. Cheremisin A. I., Kumpan V. N. Study the impact of biopreparations and growth stimulators application on useful microflora and productivity of potato. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2018;13(4):91–95. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.12737/article_5c3de390ad4cc9.66646319
16. Kozlov A. V., Uromova I. P., Mashakin A. M., Novikov D. A. The change of the condition of saprotrophic part of the microbic pool of the soil under the influence of silicon preparations. Modern problems of science and education. 2015;(2(part 1)):560–560. URL: <https://science-education.ru/en/article/view?id=18791>
17. Matychenkov I. V., Pakhnenko E. P. Change of the content of mobile phosphates of soil when introducing active forms of silicon. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2013;(3(23)):24–28. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20360811>

Сведения об авторах

✉ **Смирнова Юлия Дмитриевна**, кандидат биол. наук, зав. отделом мелиоративного земледелия, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>, e-mail: ulayad@yandex.ru

Фомичева Наталья Викторовна, кандидат биол. наук, зав. лаб. микробиологии и экологической биотехнологии, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра «Почвенный институт имени В. В. Докучаева» (ВНИИМЗ), д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2272-7767>

Information about the authors

✉ **Yulia D. Smirnova**, PhD in Biological Science, Head of the Department of Reclamation Agriculture, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2435-2089>, e-mail: ulayad@yandex.ru

Natalia V. Fomicheva, PhD in Biology Science, Head of the Laboratory of Microbiology and Environmental Biotechnology, All-Russian Research Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, 27, Emmauss village, Kalininsky district, Tver region, Russian Federation, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2272-7767>

✉ – Для контактов / Corresponding author

КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1077-1084>

УДК 636.5.033:636.084.42



Качество мяса цыплят-бройлеров при внесении в рацион растительных органических веществ

© 2025. Б. С. Нуржанов✉, Ш. Г. Рахматуллин, Г. К. Дускаев

ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий
Российской академии наук», г. Оренбург, Российская Федерация

Ограничение использования антибиотиков при выращивании птиц во многих странах подогрело интерес к альтернативным продуктам, таким как фитопрепараты (группа натуральных продуктов), которые в последние годы стали предметом многих исследований. Цель работы – оценить влияние биологически активных растительных органических веществ на химический, жирно- и аминокислотный состав мышц и печени цыплят-бройлеров. Исследования выполняли на 125 головах 7-суточных цыплятах-бройлерах (кросс Арбор Айкрес), разделенных на 5 групп ($n = 25$). Продолжительность эксперимента – 42 дня. Контрольная группа получала основной рацион (ОР); I опытная группа – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг корма/сут; II опытная – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг + коричный альдегид в дозе 55 мг/кг корма/сут; III опытная – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг + 7-гидроксикумарин в дозе 2 мг/кг корма/сут; IV опытная – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг, коричный альдегид в дозе 55 мг/кг + 7-гидроксикумарин в дозе 2 мг/кг корма/сут. В результате исследования установлено, что молодняк опытных групп превосходил сверстников контрольной по накоплению в грудных мышцах жира: I группа на 0,43 %, II – на 0,88 % ($P \leq 0,05$), III – на 0,82 % ($P \leq 0,05$) и IV группа – на 0,40 %. Птица II и IV групп по содержанию в бедренной мышце белка превосходила аналогов контрольной группы на 0,87 и 0,82 % соответственно. В грудных и бедренных мышцах бройлеров III группы больше накапливалось жирных кислот относительно контроля: пальмитолеиновой на 0,5 и 0,3 %, стеариновой на 0,2 % (только в бедренных мышцах), олеиновой на 1,1 % ($P \leq 0,05$) (только в грудных мышцах), линолевой на 1,5 ($P \leq 0,05$) и 3,1 % ($P \leq 0,01$). При введении в рацион гамма-лактона в чистом виде наблюдали наибольшее отложение в бедренных мышцах аргинина на 0,77 %, лизина – на 2,64 % ($P \leq 0,05$), лейцина + изолейцина – на 2,1 % ($P \leq 0,05$), валина – на 0,83 %, серина – на 1,57 % ($P \leq 0,05$), аланина – на 1,22 % ($P \leq 0,05$) по отношению к контрольной группе.

Ключевые слова: грудные и бедренные мышцы, печень, жирные кислоты, аминокислоты, гамма-лактон, коричный альдегид, кумарин

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (тема № FNWZ-2024-0002). Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Нуржанов Б. С., Рахматуллин Ш. Г., Дускаев Г. К. Качество мяса цыплят-бройлеров при внесении в рацион растительных органических веществ. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1077–1084. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1077-1084>

Поступила: 03.03.2025

Принята к публикации: 02.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Meat quality of broiler chickens when adding plant organic substances into the diet

© 2025. Baer S. Nurzhanov✉, Shamil G. Rakhmatullin, Galimzhan K. Duskeyev

Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

The restriction of the use of antibiotics in poultry farming in many countries has fueled interest in alternative products such as herbal preparations (a group of natural products), which have been the subject of numerous studies in recent years. The aim of the study was to evaluate the effect of biologically active plant organic substances on the chemical, fatty and amino acid composition of muscles and liver of broiler chickens. The studies were performed on 125 7-day-old broiler chickens (Arbor Acres cross), divided into 5 groups ($n = 25$). The duration of the experiment was 42 days. The difference was that the control group received the basal diet; experimental group I – the basal diet + gamma lactone at a dose of 0.1 ml/kg of feed/day; experimental group II – the basal diet + gamma lactone at a dose of 0.1 ml/kg + cinnamaldehyde at a dose of 55 mg/kg of feed/day; experimental group III – the main diet + gamma lactone at a dose of 0.1 ml/kg + 7-hydroxycoumarin at a dose of 2 mg/kg of feed/day; experimental group IV – the main diet + gamma lactone at a dose of 0.1 ml/kg + cinnamic aldehyde at a dose of 55 mg/kg + 7-hydroxycoumarin at a dose of 2 mg/kg of feed/day. The study found that the young birds from the experimental groups exceeded their peers from the control group in fat

accumulation in the pectoral muscles: I group by 0.43 %, II – by 0.88 % ($P \leq 0.05$), III – by 0.82 % ($P \leq 0.05$) and IV group – by 0.4 %. Birds from groups II and IV in terms of protein content in the femoral muscle exceeded their counterparts from the control group by 0.87 and 0.82 %, respectively. In the breast and thigh muscles of broilers of group III, fatty acids accumulated more compared to the control: palmitoleic by 0.5 and 0.3 %, stearic by 0.2 % (only in the thigh muscles), oleic by 1.1 % ($P \leq 0.05$) (only in the breast muscles), linoleic by 1.5 ($P \leq 0.05$) and 3.1 % ($P \leq 0.01$). When feeding pure gamma lactone with the diet, the highest deposition of arginine by 0.77 %, lysine by 2.64 % ($P \leq 0.05$), leucine + isoleucine by 2.1 % ($P \leq 0.05$), valine by 0.83 %, serine by 1.57 % ($P \leq 0.05$), alanine by 1.22 % ($P \leq 0.05$) in the femoral muscles was observed in relation to the control group.

Keywords: pectoral and femoral muscles, liver, fatty acids, amino acids, gamma lactone, cinnamaldehyde, coumarin

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (theme No. FNWZ-2024-0002).

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

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

For citation: Nurzhanov B. S., Rakhmatullin Sh. G., Duskaev G. K. Meat quality of broiler chickens when adding plant organic substances to the diet. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1077–1084. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1077-1084>

Received: 03.03.2025

Accepted for publication: 02.10.2025

Published online: 31.10.2025

В последние годы положение птицеводческой отрасли в сельском хозяйстве значительно улучшилось. Ожидается, что к 2050 г. население Земли достигнет 9,3 млрд человек, что приведёт к значительному росту как сельскохозяйственного производства, так и потребительского спроса, который по оценкам будет почти на 60 % выше текущего уровня. Ограничение использования антибиотиков при выращивании птиц во многих странах подогрело интерес к альтернативным продуктам, таким как фитопрепараты (группа натуральных продуктов), которые в последние годы стали предметом многих исследований [1, 2].

В связи с необходимостью преодоления некоторых недостатков при запрете химических стимуляторов роста в птицеводстве, повышается интерес к органическим соединениям из различных растений, поскольку имеются убедительные доказательства положительного воздействия пищевых добавок на увеличение коэффициентов конверсии корма и показатели роста. Фитогенные кормовые добавки, известные как фитобиотики или растительные компоненты, обычно определяются как различные вторичные растительные соединения и метаболиты, оказывающие положительное влияние на здоровье и продуктивность животных, а также на корма и продукты животноводства [3]. Растительные компоненты в рационах животных используются по-разному, в том числе в роли вкусовых фитогенных добавок, технологических добавок для улучшения качества и безопасности кормов, в виде добавок, улучшающих здоровье и благополучие животных, действующих как иммуномодуляторы, антиоксиданты, стимуляторы пищеварения и вещества, которые могут повысить продуктивность

и качество продукции животноводства [4, 5]. Лекарственные растения и их экстракты также представляют интерес в контексте производства мяса птицы, поскольку они способствуют росту, иммунному ответу и улучшению общего состояния здоровья. Было доказано, что многие растения являются безопасными и недорогими заменителями антибиотиков и стимуляторов роста, обладают мощным терапевтическим и профилактическим действием против различных микроорганизмов [6, 7, 8]. Одним из перспективных направлений исследований является изучение комбинированного использования растительных биологически активных веществ при выращивании цыплят-бройлеров, влияния их на мясную продуктивность и качество мяса для последующего внедрения в технологию кормления.

Цель исследования – оценить влияние биологически активных растительных органических веществ на биохимический, жирно- и аминокислотный состав мышц и печени цыплят-бройлеров.

Научная новизна – впервые изучено совместное влияние малых молекул растительного происхождения (гамма-лактон, коричный альдегид, кумарин) на химический состав мышечной ткани и печени цыплят-бройлеров.

Материал и методы. Объект исследования – цыплята-бройлеры кросса Арбор Айкрес, грудные и бедренные мышцы, печень.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08. 1977 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных

животных»¹, протоколы Женевской конвенции, принципы надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009²), руководство по работе с лабораторными животными³.

При проведении исследований были приняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов. Все процедуры над животными выполнены в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (ФНЦ БСТ РАН).

Схема эксперимента. Исследования выполнены на 125 головах 7-суточных цыплят-бройлеров (кросс Арбор Айкрес), разделенных на 5 групп (n = 25): контрольная группа получала основной рацион (ОР); I опытная группа – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг корма/сут; II опытная группа – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг + коричный альдегид в дозе 55 мг/кг корма/сут; III опытная – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг + 7-гидроксикумарин в дозе 2 мг/кг корма/сут; IV опытная – ОР + гамма-лактон в дозе 0,1 мл/кг + коричный альдегид в дозе 55 мг/кг + 7-гидроксикумарин в дозе 2 мг/кг корма/сут. Кормление и поение птицы осуществляли групповым методом согласно рекомендациям ФГБНУ ФНЦ «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства»⁴. Для наилучшего внесения используемых фитохимических веществ брали одноразовый стаканчик с дистиллированной водой объемом 100 мл, добавляли химически чистый гамма-окталактон в дозировке 0,1 мл и коричный альдегид – 55 мг (или 7-гидроксикумарин в дозе 2 мг), далее помещали в ультразвуковую ванну Elmasonic P30H

(ELMA, Германия), где осуществляли диспергирование длительностью 10 минут с параметрами: частота 37 кГц, температура 50 °С. Это позволяет получить стабильную биологически активную добавку для дальнейшей обработки 1 кг корма путем распыления и последующего скармливания птице.

Убой и анатомическую разделку подопытных цыплят-бройлеров проводили на 42-е сутки эксперимента. Образцы ткани грудной, бедренной мышцы и печени отбирали сразу после убоя и замораживали при температуре -18 °С.

Оборудование и технические средства. Исследования выполнены с использованием приборной базы Центра коллективного пользования биологических систем и агротехнологий РАН (г. Оренбург) (<http://цкп-бст.рф>). Анализ химического состава мяса и мясopодуков проводили по стандартизированным методикам в независимом аккредитованном Испытательном центре ФНЦ БСТ РАН (ГОСТ 51479-99 – Метод определения массовой доли влаги⁵, ГОСТ 23042-2015 – Методы определения жира⁶, ГОСТ 25011-2017 – Методы определения белка⁷, ГОСТ Р 53642-2009 – Метод определения массовой доли общей золы⁸). Аминокислотный состав биосубстратов определяли методом капиллярного электрофореза с использованием системы «Капель-105М» (Россия), жирнокислотный состав биосубстратов – методом газовой хроматографии с помощью автоматического газового хроматографа «Кристалл-ЛЮКС-4000» (Россия). Для определения элементного состава кормов, мяса цыплят бройлеров и субпродуктов использовали метод атомно-эмиссионной и масс-спектрометрии (АЭС-ИСП и МС-ИСП) на оборудовании Elan 9000 (Perkin Elmer, США) и Optima 2000 V (Perkin Elmer, США).

¹Приказ Минздрава СССР от 12.08.1977 №755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» [Электронный ресурс].

URL: http://primatologia.ru/images/NII/GLP/3_2_prikaz_minzdrawa_o_merakh_zhiwotnyh.pdf (дата обращения: 05.07.2024).

²ГОСТ Р 53434-2009. Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075972>

³Руководство по работе с лабораторными животными. Оренбург: ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН, 2024. 36 с.

URL: http://fncbst.ru/?page_id=3553

⁴Фисинин В. И., Егоров И. А., Драганов И. Ф. Кормление сельскохозяйственной птицы: учебник.

М.: ГЭОТАР-Медиа, 2011. 344 с.

⁵ГОСТ 51479-99. Метод определения массовой доли влаги. М.: Стандартинформ, 2010. 6 с.

URL: https://rosngosts.ru/file/gost/67/120/gost_r_51479-99.pdf

⁶ГОСТ 23042-2015. Методы определения жира. М.: Стандартинформ, 2016. 12 с.

URL: https://rosngosts.ru/file/gost/67/120/gost_23042-2015.pdf

⁷ГОСТ 25011-2017. Методы определения белка. М.: Стандартинформ, 2018. 16 с.

URL: https://rosngosts.ru/file/gost/67/120/gost_25011-2017.pdf

⁸ГОСТ Р 53642-2009. Метод определения массовой доли общей золы. М.: Стандартинформ, 2010. 11 с.

URL: https://rosngosts.ru/file/gost/67/120/gost_r_53642-2009.pdf

Статистическая обработка. Статистический анализ цифрового материала, полученного в исследовании, проводили с помощью программ Microsoft Excel 2018 и Statistica 10. Рассчитывали среднюю величину (М) и стандартное отклонение ($\pm SD$), достоверность межгрупповых различий проводили с использованием параметрического метода вариации

онной статистики критерия Стьюдента. Уровень значимости считали достоверным при $P \leq 0,05$, $P \leq 0,01$.

Результаты и их обсуждение. При анализе данных химического состава мяса цыплят-бройлеров было установлено, что по содержанию отдельных компонентов имелись межгрупповые различия (табл. 1).

**Таблица 1 – Содержание питательных веществ в мышцах и печени цыплят-бройлеров, % (n = 25) /
Table 1 – Nutrient content of muscle and liver of broiler chickens, % (n = 25)**

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group			
		I	II	III	IV
Грудные мышцы / Pectoral muscles					
Влага / Moisture	76,29±2,31	76,81±2,76	78,08±2,35*	75,84±2,52	78,84±3,04**
Сухое вещество / Dry matter	23,71±1,02	23,19±0,95	21,92±0,67	24,16±0,90*	21,16±0,77
Жир / Fat	1,28±0,04	1,71±0,04	2,16±0,06*	2,10±0,05*	1,68±0,06
Белок / Protein	21,44±1,01	20,5±0,83	18,78±0,87	21,08±1,06	18,5±0,89
Зола / Ash	0,99±0,09	0,98±0,07	0,98±0,06	0,98±0,06	0,98±0,05
Бедренные мышцы / Thigh muscles					
Влага / Moisture	75,27±2,81	75,57±2,54	74,45±2,64	75,24±3,41	73,92±2,56
Сухое вещество / Dry matter	24,73±0,67	24,43±0,73	25,55±0,94	24,76±0,85	26,08±0,82*
Жир / Fat	5,00±0,07	4,81±0,05	4,95±0,05	5,10±0,06	5,54±0,09
Белок / Protein	18,78±0,67	18,67±0,58	19,65±0,61*	18,71±0,66	19,6±0,57*
Зола / Ash	0,95±0,01	0,95±0,01	0,95±0,02	0,95±0,02	0,94±0,01
Печень / Liver					
Влага / Moisture	74,04±2,66	80,95±2,68	77,44±2,59**	79,75±2,61**	76,79±2,73**
Сухое вещество / Dry matter	25,96±0,98	19,05±1,02	22,56±1,15	20,25±0,97	23,21±1,06
Жир / Fat	3,97±0,15	3,87±0,12	3,9±0,11	3,41±0,15	5,28±0,10*
Белок / Protein	21,03±0,51	14,22±0,41	17,70±0,47	15,87±0,40	16,98±0,44
Зола / Ash	0,96±0,03	0,96±0,02	0,96±0,01	0,97±0,04	0,95±0,02

* Достоверные отличия по сравнению с контрольной группой, значимо при $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ /

* Significant differences compared to the control group, statistically significant at $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$

Совместное внесение в рацион цыплят-бройлеров органических веществ растительного происхождения (гамма-лактон и 7-гидроксикумарин) способствовало большему накоплению в грудных мышцах сухого вещества на 0,45 % ($P \leq 0,05$), жира – на 0,82 % ($P \leq 0,05$) по сравнению со сверстниками контрольной группы. Птица II и IV групп по содержанию в бедренной мышце белка превосходила аналогов контрольной на 0,87 и 0,82 % ($P \leq 0,05$) соответственно. В образцах печени бройлеров III группы наблюдали повышение влаги на 5,71 % ($P \leq 0,01$), снижение жира – на 0,56 % и белка – на 5,16 % относительно контроля. Наибольшее содержание жира в печени отмечено у бройлеров, получавших с основным рационом смесь гамма-лактона, коричневого

альдегида и 7-гидроксикумарина по сравнению с контрольной группой (на 1,31 %, $P \leq 0,05$). Молодняк контрольной группы превосходил аналогов опытных групп (I–IV) по накоплению в печени сухого вещества на 2,75–6,91 %, белка – на 3,33–6,81 %. Исследования А. А. Аль-Саган и др. (А. А. AL-Sagan et al.) показали, что активные соединения, содержащиеся в фитогенных кормовых добавках, влияют на продуктивность и качество продукции птицеводства [9].

Анализ жирнокислотного состава мышц и печени цыплят-бройлеров показал увеличение в них концентрации отдельных жирных кислот при введении в основной рацион различного сочетания биологически активных растительных веществ (табл. 2).

Таблица 2 – Жирнокислотный состав мышц и печени цыплят-бройлеров, % (n = 25) /
Table 2 – Fatty acid composition of muscles and liver of broiler chickens, % (n = 25)

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group			
		I	II	III	IV
Грудные мышцы / Pectoral muscles					
C14:0 миристиновая / C14:0 myristic	0,50±0,016	0,40±0,011	0,30±0,014	0,50±0,012	0,50±0,011
C16:0 пальмитиновая / C16:0 palmitic	20,50±0,64	20,6±0,72	19,20±0,75	19,10±0,69	19,20±0,60
C16:1 пальмитолеиновая / C16:1 palmitoleic	3,40±0,08	3,50±1,01	3,70±0,08	3,90±0,09	3,80±0,07
C18:0 стеариновая / C18:0 stearic	7,10±0,22	6,90±0,18	6,20±0,21	6,50±0,20	6,80±0,21
C18:1 олеиновая / C18:1 oleic	34,20±1,12	33,60±1,11	35,90±1,15	35,30±1,17*	35,50±1,07
C18:2 линолевая / C18:2 linoleic	29,90±0,62	31,20±0,71	30,90±0,67	31,40±0,81*	30,30±0,58
C18:3 линоленовая / C18:3 linolenic	1,40±0,04	1,20±0,03	1,20±0,04	1,10±0,09	1,30±0,05
C20:4 арахидоновая / C20:4 arachidonic	3,00±0,08	2,60±0,06	2,60±0,05	2,20±0,10	2,60±0,09
Бедренные мышцы / Thigh muscles					
C14:0 миристиновая / C14:0 myristic	0,50±0,02	0,40±0,04	0,50±0,06	0,40±0,07	0,40±0,06
C16:0 пальмитиновая / C16:0 palmitic	21,60±1,32	20,10±1,50	20,30±1,53	20,00±1,57	21,20±1,45
C16:1 пальмитолеиновая / C16:1 palmitoleic	3,40±0,20	3,50±0,16	3,40±0,18	3,70±0,14	3,60±0,18
C18:0 стеариновая / C18:0 stearic	7,40±0,33	7,00±0,28	7,50±0,35	7,60±0,37	7,10±0,35
C18:1 олеиновая / C18:1 oleic	35,10±2,25	34,80±2,15	33,80±1,88	33,30±1,86	34,20±2,10
C18:2 линолевая / C18:2 linoleic	27,90±1,56	30,20±1,74	30,40±1,68	31,00±1,77**	28,50±1,62
C18:3 линоленовая / C18:3 linolenic	1,10±0,05	1,10±0,09	1,10±0,08	1,20±0,07	1,30±0,06
C20:4 арахидоновая / C20:4 arachidonic	3,00±0,17	2,90±0,14	3,00±0,15	2,80±0,14	3,70±0,19
Печень / Liver					
C14:0 миристиновая / C14:0 myristic	0,40±0,02	0,40±0,03	0,30±0,05	0,30±0,04	0,40±0,02
C16:0 пальмитиновая / C16:0 palmitic	31,40±1,78	25,80±1,74	24,70±1,61	24,30±1,55	25,10±1,66
C16:1 пальмитолеиновая / C16:1 palmitoleic	2,40±0,20	1,90±0,26	1,30±0,31	1,60±0,30	2,00±0,24
C18:0 стеариновая / C18:0 stearic	14,00±0,71	20,80±0,92**	19,70±0,85*	20,90±0,88**	19,60±0,89*
C18:1 олеиновая / C18:1 oleic	29,10±1,64	24,40±1,60	24,20±1,51	22,00±1,54	25,10±1,59
C18:2 линолевая / C18:2 linoleic	15,10±0,76	17,30±0,71	20,80±0,86*	21,00±0,89**	19,40±0,81*
C18:3 линоленовая / C18:3 linolenic	0,90±0,03	1,50±0,04	0,90±0,02	1,30±0,04	1,10±0,05
C20:4 арахидоновая / C20:4 arachidonic	6,70±0,18	7,90±0,20	8,10±0,21	8,60±0,23*	7,30±0,20

* Достоверные отличия по сравнению с контрольной группой, значимо при $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ /

* Significant differences compared to the control group, statistically significant at $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$

Отложилось больше в грудных и бедренных мышцах птицы пальмитолеиновой на 0,5 и 0,3 %, стеариновой на 0,2 % (в бедренных мышцах), олеиновой – на 1,1 % ($P \leq 0,05$) (в грудных мышцах), линолевой – на 1,5 ($P \leq 0,05$) и 3,1 % ($P \leq 0,01$) жирных кислот в III опытной группе относительно контроля. При анализе жирно-кислотного профиля печени птиц опытных групп установлено достоверное повышение содержания стеариновой кислоты на 5,6–6,9 %, линолевой – на 2,2–5,9 %, арахидоновой – на 0,6–1,9 % в сравнении с контрольной. Бройлеры контрольной группы превосходили аналогов опыт-

ных по концентрации в печени пальмитиновой кислоты на 5,6–7,1 %, пальмито-леиновой – на 0,4–1,1 %, олеиновой – на 4,0–7,1 %. Зарубежные исследования также показали, что биоактивные соединения (эфирные масла, эллаговая кислота, флавоноиды) повышают антиоксидантный статус мяса [10] и оказывают значительное влияние на количественный и качественный состав жирных кислот в грудных мышцах цыплят-бройлеров [11]. Кроме того, добавление фитохимических веществ в корм повысило качество тушек и выход грудных мышц у цыплят-бройлеров за счет улучшения коэффициента конверсии корма [12].

В исследовании, проведенном Н. Элороглу и др. (Н. Eleroğlu et al.) [13], отмечается, что соотношение полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) к свободным (неэтерифицированным) жирным кислотам (СЖК) в мясе грудки колебалось от 3,47 до 2,78 и улучшилось после добавления фитобиотических веществ. Также установлено, что фитодобавки повышают качество мяса за счёт увеличения содержания полиненасыщенных жирных кислот,

полезных для здоровья, и снижения перекисного окисления липидов, увеличивая срок хранения мяса [14].

Аминокислотный состав грудных мышц бройлеров характеризовался более высоким содержанием лизина (на 0,05 %), гистидина (на 0,08 %) в IV группе и высоким содержанием гистидина (на 0,24 %), метионина (на 0,13 %) и низким содержанием аргинина (на 0,54 %) во II группе в сравнении с контрольной (табл. 3).

Таблица 3 – Аминокислотный состав мышц и печени цыплят-бройлеров, % (n = 25) /
Table 3 – Amino acid composition of muscles and liver of broiler chickens, % (n = 25)

Показатель / Indicator	Контрольная группа / Control group	Опытная группа / Experimental group			
		I	II	III	IV
1	2	3	4	5	6
Грудные мышцы / Pectoral muscles					
Аргинин / Arginine	5,11±0,15	5,04±0,14	4,57±0,18	5,07±0,11	4,9±0,14
Лизин / Lysine	7,08±0,18	7,06±0,16	6,67±0,15	7,07±0,14	7,13±0,19
Тирозин / Tyrosine	3,73±0,12	3,7±0,18	3,47±0,15	3,48±0,11	3,47±0,14
Фенилаланин / Phenylalanine	2,75±0,05	2,72±0,09	2,64±0,07	2,73±0,09	2,76±0,06
Гистидин / Histidine	2,08±0,07	2,18±0,05	2,32±0,10	2,22±0,04	2,16±0,11
Лейцин + изолейцин / Leucine + Isoleucine	10,14±0,32	9,66±0,33	9,28±0,35	9,73±0,30	9,88±0,37
Метионин / Methionine	2,72±0,09	2,94±0,03	2,85±0,08	2,79±0,07	2,67±0,05
Валин / Valin	3,98±0,12	3,83±0,16	3,64±0,10	3,79±0,15	3,89±0,13
Пролин / Proline	3,07±0,14	2,95±0,11	2,91±0,12	3,01±0,11	2,99±0,15
Треонин / Threonine	3,87±0,13	3,70±0,16	3,62±0,14	3,69±0,12	3,72±0,16
Серин / Serene	5,69±0,25	5,62±0,21	5,42±0,17	5,70±0,19	5,68±0,22
Аланин / Alanine	3,45±0,10	3,59±0,11	3,45±0,18	3,49±0,16	3,49±0,14
Бедренные мышцы / Thigh muscles					
Аргинин / Arginine	4,37±0,15	5,14±0,12	4,70±0,11	4,85±0,16	4,89±0,12
Лизин / Lysine	6,25±0,20	8,89±0,15*	6,87±0,18	6,42±0,21	6,60±0,16
Тирозин / Tyrosine	2,38±0,12	3,01±0,12	2,57±0,14	2,47±0,13	2,72±0,11
Фенилаланин / Phenylalanine	2,41±0,09	3,13±0,07	2,59±0,11	2,48±0,12	2,55±0,06
Гистидин / Histidine	1,63±0,06	1,32±0,04	1,81±0,09	1,59±0,04	1,27±0,05
Лейцин + изолейцин / Leucine + Isoleucine	8,36±0,29	10,46±0,25*	8,77±0,24	8,41±0,31	8,80±0,27
Метионин / Methionine	2,34±0,11	2,15±0,06	2,17±0,08	2,20±0,06	2,39±0,09
Валин / Valin	3,31±0,13	4,14 ±0,14	3,47±0,15	3,26±0,11	3,43±0,14
Пролин / Proline	2,75±0,11	3,41±0,14	2,96±0,09	2,78±0,13	2,98±0,10
Треонин / Threonine	3,15±0,08	3,89±0,12	3,34±0,09	3,14±0,06	3,39±0,11
Серин / Serene	4,32±0,19	5,89±0,17*	4,76±0,16	4,51±0,12	4,73±0,15
Аланин / Alanine	3,17±0,15	4,39±0,20*	3,60±0,16	3,33±0,018	3,54±0,15
Печень / Liver					
Аргинин / Arginine	3,19±0,15	3,39±0,08	3,49±0,17	3,66±0,12	4,28±0,09
Лизин / Lysine	4,54±0,12	3,94±0,14	4,02±0,11	4,01±0,12	5,31±0,16
Тирозин / Tyrosine	1,98±0,06	2,02±0,10	2,15±0,07	1,97±0,11	2,29±0,12
Фенилаланин / Phenylalanine	2,55±0,08	2,58±0,05	2,55±0,07	2,56±0,09	2,83±0,05

Продолжение табл. 3

1	2	3	4	5	6
Печень / Liver					
Гистидин / Histidine	1,59±0,04	1,43±0,02	1,0 ±0,06	1,12±0,02	1,03±0,07
Лейцин + изолейцин / Leucine + Isoleucine	7,58±0,22	7,8 ±0,30	7,39±0,25	7,52±0,21	8,04±0,24
Метионин / Methionine	1,78±0,05	2,15±0,04	1,82±0,07	1,48±0,06	1,28±0,08
Валин / Valin	3,40±0,16	3,51±0,12	3,22±0,11	3,55±0,14	3,77±0,13
Пролин / Proline	2,63±0,11	2,74±0,10	2,48±0,13	2,55±0,09	2,72±0,15
Треонин / Threonine	2,98±0,08	2,96±0,05	2,93±0,10	2,88±0,05	3,07±0,11
Серин / Serene	3,72±0,20	3,77±0,16	3,73±0,11	3,66±0,12	4,06±0,09
Аланин / Alanine	2,86±0,16	2,98±0,09	2,94±0,14	2,82±0,15	3,21±0,11

* Достоверные отличия по сравнению с контрольной группой, значимо при $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$ /

* Significant differences compared to the control group, statistically significant at $P \leq 0,05$; ** $P \leq 0,01$

Совместное внесение в рацион птицы биологически активных веществ растительного происхождения – гамма-лактона и 7-гидроксикумарина способствовало лучшему отложению в бедренных мышцах аминокислот: аргинина на 0,48 %, лизина – на 0,17 %, тирозина – на 0,09 %, фенилаланина – на 0,07 %, лейцина + изолейцина – на 0,05 %, серина – на 0,19 %, аланина – на 0,16 % относительно контроля. При введении в рацион гамма-лактона в чистом виде наблюдали наибольшее отложение аминокислот в бедренных мышцах молодняка. В частности, содержание аргинина увеличилось на 0,77 %, лизина – на 2,64 % ($P \leq 0,05$), лейцина + изолейцина – на 2,1 % ($P \leq 0,05$), валина – на 0,83 %, серина – на 1,57 % ($P \leq 0,05$), аланина – на 1,22 % ($P \leq 0,05$) по отношению к контрольной группе. Наиболее значимые отличия по концентрации аминокислот в печени установили в IV опытной группе: по аргинину – на 1,09 %, лизину – на 0,77 %, лейцину + изолейцину – 0,46 % относительно контроля. Наши данные согласуются с ранее проведенными исследованиями, в которых отмечается, что пищевые добавки с различными уровнями экстракта лука (*Allium cepa* L.)

повышают качество мяса и профили аминокислот в мышцах цыплят, за счет улучшения гистологии кишечника, активности антиоксидантных ферментов и иммунного статуса птиц [15].

Заключение. Таким образом, добавление гамма-лактона в чистом виде или в смеси с другими биологически активными растительными веществами в рацион подопытных цыплят-бройлеров кросса Arbor Acres может оказывать положительное влияние на их организм. В частности, совместное внесение в рацион цыплят-бройлеров органических веществ растительного происхождения (гамма-лактон и 7-гидроксикумарин) способствовало большему накоплению в грудных мышцах сухого вещества на 0,45 % ($P \leq 0,05$); жира – на 0,82 % ($P \leq 0,05$); жирных кислот: пальмитолеиновой на 0,5%, олеиновой – на 1,1 % ($P \leq 0,05$), линолевой – на 1,5 ($P \leq 0,05$) и в бедренных мышцах линолевой кислоты на 3,1 % ($P \leq 0,01$); аминокислот: аргинина на 0,48 %, лизина – на 0,17 %, тирозина – на 0,09 %, серина – на 0,19 %, аланина – на 0,16 %, в печени – стеариновой кислоты на 6,9 % ($P \leq 0,01$), линолевой – на 5,9 % ($P \leq 0,01$), арахидоновой – на 1,9 % ($P \leq 0,05$) по сравнению со сверстниками контрольной группы.

References

1. Falcon W. P., Naylor R. L., Shankar N. D. Rethinking global food demand for 2050. Population and Development Review. 2022;48(4):921–957. DOI: <https://doi.org/10.1111/padr.12508>
2. Dong S., Li L., Hao F., Fang Z., Zhong R., Wu J., Fang X. Improving quality of poultry and its meat products with probiotics, prebiotics, and phytoextracts. Poultry Science. 2024;103(2):103287. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2023.103287>
3. Sharifi-Rad J., Sureda A., Tenore G. C., Daglia M., Sharifi-Rad M., Valussi M. et al. Biological Activities of Essential Oils: From Plant Chemoecology to Traditional Healing Systems. Molecules. 2017;22(1):70. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules22010070>
4. Hassan A. H. A., Youssef I. M. I., Abdel-Atty N. S., Abdel-Daim A. S. A. Effect of thyme, ginger, and their nanoparticles on growth performance, carcass characteristics, meat quality and intestinal bacteriology of broiler chickens. BMC Veterinary Research. 2024;20:269. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-024-04101-z>
5. Jachimowicz K., Winiarska-Mieczan A., Tomaszewska E. The Impact of Herbal Additives for Poultry Feed on the Fatty Acid Profile of Meat. Animals (Basel). 2022;12(9):1054. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12091054>

6. Orłowski S., Flees J., Greene E. S., Ashley D., Lee S.-O., Yang F. L. et al. Effects of phytogenic additives on meat quality traits in broiler chickens. *Journal of Animal Science*. 2018;96(9):3757–3767. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/sky238>
7. Qaid M. M., Al-Mufarrej S. I., Azzam M. M., Al-Garadi M. A., Alqhtani A. H., Fazea E. H. et al. Effect of Rumex nervosus Leaf Powder on the Breast Meat Quality, Carcass Traits, and Performance Indices of Eimeria tenella. *Animals (Basel)*. 2021;11(6):1551. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani11061551>
8. Abd El-Hack M. E., El-Saadony M. T., Saad A. M., Salem H. M., Ashry N. M., Abo Ghanima M. M. et al. Essential oils and their nanoemulsions as green alternatives to antibiotics in poultry nutrition: a comprehensive review. *Poultry Science*. 2022;101(2):101584. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2021.101584>
9. AL-Sagan A. A., Khalil S., Hussein E. O. S., Attia Y. A. Effects of fennel seed powder supplementation on growth performance, carcass characteristics, meat quality, and economic efficiency of broilers under thermoneutral and chronic heat stress conditions. *Animals (Basel)*. 2020;10(2):206. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10020206>
10. Kim Y. R., Lee B. K., Kim J. Y., Kim J. S., Lee W. S., Lee S. Y. et al. Effects of dietary locally growth herbs (*Mentha piperascens*, *Rubus coreanus*, *Tagetes patula*) on the growth performance and meat quality of broiler chickens. *Korean Society for Food Science of Animal Resources*. 2009;29(2):168–177. DOI: <https://doi.org/10.5851/KOSFA.2009.29.2.168>
11. Lee K. W., Kim J. S., Oh S. T., Kang C. W., An B. K. Effects of dietary sanguinarine on growth performance; Relative organ weight; Cecal microflora; Serum cholesterol level and meat quality in broiler chickens. *Journal of Poultry Science*. 2015;52(1):15–22. DOI: <https://doi.org/10.2141/jpsa.0140073>
12. Saeed M., Naveed M., Leskovec J., Kamboh A. A., Kakar I., Ullah K. et al. Using Guduchi (*Tinospora cordifolia*) as an eco-friendly feed supplement in human and poultry nutrition. *Poultry Science*. 2020;99(2):801–811. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.psj.2019.10.051>
13. Eleroğlu H., Yıldırım A., Işıklı N. D., Şekeroğlu A., Duman M. Comparison of meat quality and fatty acid profile in slow-growing chicken genotypes fed diets supplemented with Origanum vulgare or Melissa officinalis leaves under the organic system. *Italian Journal of Animal Science*. 2013;12:e64. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2013.e64>
14. Galli G. M., Gerbet R. R., Griss L. G., Fortuoso B. F., Petrolli T. G., Boiago M. M. et al. Combination of herbal components (curcumin, carvacrol, thymol, cinnamaldehyde) in broiler chicken feed: Impacts on response parameters, performance, fatty acid profiles, meat quality and control of coccidia and bacteria. *Microbial Pathogenesis*. 2020;139:103916. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2019.103916>
15. Omar A. E., Al-Khalafah H. S., Mohamed W. A. M., Gharib H. S. A., Osman A., Al-Gabri N. A., Amer S. A. Effects of Phenolic-Rich Onion (*Allium cepa* L.) Extract on the Growth Performance, Behavior, Intestinal Histology, Amino Acid Digestibility, Antioxidant Activity, and the Immune Status of Broiler Chickens. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:582612. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.582612>

Сведения об авторах

✉ **Нуржанов Баер Серекпаевич**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С. Г. Леушина, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3240-6112>, e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Рахматуллин Шамиль Гафиуллинович, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С. Г. Леушина, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0143-9499>

Дускаев Галимжан Калиханович, доктор биол. наук, доцент, профессор РАН, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных и технологии кормов им. С. Г. Леушина, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, д. 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

Information about the authors

✉ **Baer S. Nurzhanov**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S. G. Leushin, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ul. 9 Yanvarya, 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3240-6112>, e-mail: baer.nurzhanov@mail.ru

Shamil G. Rakhmatullin, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S. G. Leushin, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ul. 9 January, 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0143-9499>

Galimzhan K. Duskaev, DSc in Biological Science, associate professor, professor of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, the Department of Farm Animal Feeding and Feed Technology named after S. G. Leushin, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 January, 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: fncbst@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9015-8367>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Кормовая фитодобавка из левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) и её использование в кормлении молодняка кур-несушек

© 2025. Н. А. Морозков^{1✉}, Е. В. Лепихина¹, И. Н. Жданова¹, Н. В. Авдеев¹, В. А. Ситников²

¹Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

²ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», г. Пермь, Российская Федерация

Цель исследования – изучить содержание 20-гидроксизекдизона в кормовой фитодобавке из левзеи сафлоровидной и её воздействие на обменные процессы в организме молодняка кур-несушек кросса Ломанн Браун Лайт. Концентрация 20-гидроксизекдизона в исследуемой фитодобавке составила $0,40 \pm 0,05$ % на абсолютно сухое вещество. Кормовую фитодобавку из зеленой массы левзеи сафлоровидной включали в состав комбикорма со 2-й по 23-ю неделю выращивания молодняка кур-несушек: в первой опытной группе – 3,0 %, во второй – 6,0 % от массы сухого вещества комбикорма. Продолжительность скормливания 154 дня. В результате эксперимента выявлено, что у молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп коэффициенты переваримости, по сравнению с аналогами контрольной группы, были выше: сухого вещества на 3,20 и 7,21 % ($p < 0,01$); органического вещества – на 2,90 % ($p < 0,05$) и 5,70 % ($p < 0,01$); сырого протеина – на 5,68 и 7,47 % ($p < 0,05$); сырого жира – на 4,60 и 6,07 % ($p < 0,05$); сырой клетчатки – на 4,94 и 8,14 % ($p < 0,05$); безазотистых экстрактивных веществ – на 1,36 и 2,31 % соответственно. Коэффициент усвоения азота у птицы опытных групп был выше на 1,89 п. п. ($p < 0,01$) и 4,58 п. п. ($p < 0,001$) соответственно. У молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп коэффициенты использования кальция и фосфора были больше по сравнению с птицей контрольной группы на 1,42 п. п. ($p < 0,05$) и на 3,57 п. п., 1,44 и на 3,50 п. п. соответственно. Уровень общего белка в крови у молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп был выше на 9,13 % ($p < 0,05$) и 12,22 % ($p < 0,01$) соответственно по сравнению с контролем. Живая масса цыплят в первой и второй опытных группах по окончании эксперимента по отношению к контрольной составила 101,02 и 105,52 % соответственно. С целью улучшения обменных процессов в организме птицы целесообразнее включать в структуру комбикормов для молодняка кур-несушек кормовую фитодобавку из левзеи сафлоровидной в количестве 6,0 % от массы сухого вещества комбикорма.

Ключевые слова: комбикорм, переваримость, фитозекдистероиды, баланс азота, кальций, фосфор, каротин, 20-гидроксизекдизон

Благодарности: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № 122030400198-6).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Морозков Н. А., Лепихина Е. В., Жданова И. Н., Авдеев Н. В., Ситников В. А. Кормовая фитодобавка из левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) и её использование в кормлении молодняка кур-несушек. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1085–1097. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1085-1097>

Поступила: 12.03.2025

Принята к публикации: 13.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Feed phyto-additive from *Leucea safflower* (*Rhaponticum carthamoides*) and its use in young laying hens

© 2025. Nikolay A. Morozkov^{1✉}, Elena V. Lepikhina¹, Irina N. Zhdanova¹, Nikolay V. Avdeev¹, Vladimir A. Sitnikov²

¹Perm Research Institute of Agriculture –division of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Perm Region, Russian Federation,

²Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, Perm, Russian Federation

The aim of the research was to study the content of 20-hydroxyecdysone in phyto-additive from *Leucea safflower* and its effect on metabolic processes in young laying hens of the Lohmann Brown Light cross. The concentration of 20-hydroxyecdysone in phyto-supplement under study was 0.40 ± 0.05 % on absolutely dry matter. Phyto-additive from the green mass of *Leucea safflower* was included into the compound feed from the 2nd to the 23rd week of growing young laying hens: at a rate of 3,0 % in the first experimental group and 6,0 % in the second group, based on the dry matter content of the feed. The duration

of feeding was 154 days. As a result of the experiment, it was revealed that the young laying hens of the first and second experimental groups had higher digestibility coefficients compared to the analogues of the control group: of dry matter by 3.20 and 7.21 % ($p<0.01$), of organic matter by 2.90 % ($p<0.05$) and 5.70 % ($p<0.01$), of crude protein – by 5.68 and 7.47 % ($p<0.05$), of crude fat – by 4.60 and 6.07 % ($p<0.05$), of crude fiber – by 4.94 and 8.14 % ($p<0.05$), and of nitrogen-free extractive substances – by 1.36 and 2.31 %, respectively. The coefficients of nitrogen assimilation in poultry of the experimental groups were higher by 1.89 p. p. ($p<0.01$) and 4.58 p. p. ($p<0.001$), respectively. In the young laying hens of the first and second experimental groups, the coefficients of calcium and phosphorus utilization were higher, compared with the poultry of the control group, by 1.42 p. p. ($p<0.05$) and by 3.57 p. p., 1.44 p. p. and 3.50 p. p., respectively. The level of total protein in the blood of young laying hens of the first and second experimental groups was at the upper limit of normal and was higher by 9.13 % ($p<0.05$) and 12.22 % ($p<0.01$), respectively, compared with the control. The live weight of young chickens in the first and second experimental groups at the end of the experiment, was 101.02 % and 105.52 %, respectively, relative to the control. In order to improve the metabolic processes in the body of the poultry, it is more appropriate to include a feed phyto-additive from *Leucea safflower* in the amount of 6.0 % (in% to the weight of the dry matter of the feed) in the structure of compound feeds for young laying hens.

Keywords: compound feed, digestibility, phytoecdysteroids, balance of nitrogen, calcium, phosphorus, carotene, 20-hydroxyecdysone

Acknowledgments: the research was carried out under the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal State Budgetary Institution of Science Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. 122030400198-6).

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

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

For citations: Morozkov N. A., Lepikhina E. V., Zhdanova I. N., Avdeev N. V., Sitnikov V. A. Feed phyto-additive from *Leucea safflower* (*Rhaponticum carthamoides*) and its use in young laying hens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(5):1085–1097. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1085-1097>

Received: 12.03.2025

Accepted for publication: 13.10.2025

Published online: 31.10.2025

Для повышения интенсивности роста молодняка птицы необходимо научное, практическое изучение и совершенствование системы биологически полноценного кормления. Это включает производство полнорационных комбикормов, обогащенных белком, биологически активными веществами с использованием местных, нетрадиционных кормовых ресурсов [1].

Кормовые добавки, богатые белком, минералами, витаминами, ксантофиллами, каротином и другими биологически активными веществами способствуют повышению показателей иммунитета растущего молодняка кур-несушек. Включение фитодобавок в комбикорма (до 10 % от массы комбикорма) повышает биологическую ценность кормов, однако избыток клетчатки может снизить динамику роста птицы. Поэтому необходимы новые фитодобавки, способствующие более эффективному использованию основных кормов [2, 3].

Важно отметить, что многофункциональные исследования фитоэкдистероидов, активно проводимые по всему миру, способствовали появлению на международном рынке множества различных препаратов и биологически активных добавок, содержащих экдистероиды и экстракты растений, в которых они присутствуют [4, 5].

Физиологическое воздействие экдистероидов на организм человека и теплокровных животных весьма разнообразно. Эти вещества играют важную роль в регуляции процессов минерального, углеводного, липидного и белкового обменов [6].

В последнее время активно проводятся исследования фармакодинамики фитоэкдистероидов, особенно в контексте их метаболического действия. Одним из наиболее исследуемых природных соединений со стероидной структурой, выделяемых из растений, является 20-гидроксиэкдизон (20E), который получают, в частности, из корней и корневищ левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) [7, 8].

Левзея является ценной кормовой культурой в животноводстве, обладающей множеством полезных свойств, таких как тонизирующее, возбуждающее, укрепляющее и стимулирующее действия. Культура выступает в роли натурального растительного анаболика, содержащего экдизоны, является истинным природным адаптогеном. Надземная часть левзеи сафлоровидной отличается богатым витаминным составом. Левзея тонизирует организм, активизирует иммунную систему на различных уровнях, расширяет сосуды, нормализует артериальное давление, ускоряет кровообращение, снижает уровень усталости, способствует регенерации кожи и стимулирует остеосинтез. Адаптогены левзеи сафлоровидной способствуют восстановлению физиологической нормы компонентов крови, препятствуют росту опухолей, положительно влияют на обмен веществ, содействуют повышению продуктивности сельскохозяйственных животных и качества их продукции [9, 10, 11].

Природно-климатические условия Пермского края благоприятны для возделывания левзеи сафлоровидной. Полагаем, что путем проведения своевременных и качественных агротехнических приёмов при культивировании можно регулировать содержание 20Е в растительной массе левзеи. Стрессовые воздействия на растение кратковременной продолжительности в виде технологической обработки могут привести к увеличению содержания вторичных метаболитов в растениях как ответ на воздействие окружающей среды.

Наиболее распространенным и практичным способом применения биологически активных веществ животным является введение их в рацион в форме кормовых добавок [12].

Цель исследований – изучить содержание 20-гидроксизексидона в кормовой фитодобавке из левзеи сафлоровидной и её воздействие на обменные процессы в организме молодняка кур-несушек кросса Ломанн Браун Лайт в период со 2-ой по 23-ю неделю выращивания. В задачи исследований входило: изучить влияние кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной на биохимические показатели крови молодняка кур-несушек в период выращивания, определить переваримость кормов рациона, рассчитать баланс белка, кальция и фосфора в организме птицы, выявить динамику роста птицы в разрезе экспериментальных групп.

Научная новизна – в ходе эксперимента получены новые данные о содержании биологически активного вещества 20Е в фитодобавке из левзеи сафлоровидной и выявлено её воздействие в составе биологически улучшенного комбикорма на обменные процессы в организме молодняка кур-несушек кросса Ломанн Браун Лайт.

Материал и методы. Исследования проводили в лаборатории биологически активных кормов Федерального государственного бюджетного учреждения науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ФГБУН ПФИЦ УрО РАН), в аналитической лаборатории государственного бюджетного учреждения ветеринарии края «Пермский ветеринарный диагностический центр» (ГБУВК «Пермский ВДЦ») и ООО «Предуралье»

Пермского района Пермского края. Предмет исследования – кормовая фитодобавка из левзеи сафлоровидной, включенная в состав рациона молодняка кур-несушек в количестве: первой опытной группе – 3,0 %, второй – 6,0 % от массы сухого вещества (СВ) комбикорма (в составе комбикорма заменяли часть зернового ингредиента (пшеницу) на фитодобавку).

Объект исследования – молодняк кур-несушек кросса Ломанн Браун Лайт в возрасте с 1-ой по 23-ю неделю выращивания. Эксперимент проводили по методу пар-аналогов, согласно методике В. М. Кузнецова¹.

В эксперименте использовали 105 цыплят, которые были разделены на три группы по 35 голов в каждой. Опыт включал уравнильный период с 1-го по 7-ой день жизни и учётный – со 2-ой по 23-ю неделю. Условия содержания и основной рацион (ОР) кормления были одинаковыми во всех экспериментальных группах в соответствии с методическими рекомендациями Всероссийского научно-исследовательского технологического института птицеводства (ВНИТИП) (Ш. А. Имангулов и др.)².

Птице контрольной группы скармливался типовой комбикорм, соответствующий её возрасту: в первый месяц выращивания – комбикорм ПК-2, с пятой недели – типовой комбикорм ПК1-2. Для опытных групп на базе этих же марок комбикормов ПК-2 и ПК1-2 готовили экспериментальные комбикорма-кормосмеси. Продолжительность скармливания – 154 дня.

Левзея сафлоровидная, как кормовая культура, обладающая биологической активностью, возделывалась на опытном поле Пермского НИИСХ, где массив *Rhaponticum carthamoides*, заложенный в 2010 году, использовался в агрофитоценозе 15 лет с сохранением устойчивого продуцирования надземной массы при широкорядном посеве (норма высева 0,4 млн всх. семян/га) в среднем по вариантам за два укоса на уровне 16,54 т/га³. Технология производства фитодобавки включала следующие операции: уборку зелёной массы проводили в фазу полной бутонизации (окрашивание соцветий и отдельных цветков)⁴; зелёную массу

¹Кузнецов В. М. Основы научных исследований в животноводстве. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2006. 568 с.

²Имангулов Ш. А., Егоров И. А., Околелова Т. М., Тищенко А. Н., Паньков П. Н., Игнатова Г. В. и др. Рекомендации по кормлению сельскохозяйственной птицы. Под общ. ред. В. И. Фисинина. Сергиев Пасад, 2006. 143 с.

³Отчет о НИР лаборатории биологически активных кормов ПФИЦ УрО РАН. Пермь, 2023. 145 с.

⁴Методика опытов на сенокосах и пастбищах. Ч. 1. Подгот. В. Г. Игловиков, И. П. Минина, И. А. Цаценкин и др. М.: Всесоюзный НИИ кормов им. В.Р. Вильямса, 1971. 232 с.

скашивали косилкой-плющилкой с пяти до шести часов утра; срезание растений проводили на высоте 5–7 см от земли; зелёную массу высушивали в сушильном шкафу при температуре 70 °С с использованием принудительного вентилирования до влажности 9–10 % (подвяливание зелёной массы в поле не допускалось); размол сухой массы осуществляли на мельнице ДКУ-03 до тонины помола 0,1–0,5 мм; в смесителе сыпучих кормов СВШ-1,5 с целью снижения окисления биологически активных веществ в фитодобавке, тщательно перемешивая, вносили водный раствор пиросульфита натрия (при добавлении к массе 0,5 % пиросульфита натрия [13], то есть 5 г порошка пиросульфита натрия на 1 кг фитодобавки).

Количество 20Е в фитодобавке из левзеи сафлоровидной определяли методом высокоэффективной тонкослойной хроматографии (ВЭ ТСХ) [14] в лаборатории биологически активных кормов Пермского НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН. Образцы наносили штрихом с помощью автоматического аппликатора Sorbfil АПА -2 М пластины с люминофором Sorbfil ПТСХ-АФ-В-УФ, денситометрию проводили в осветительной камере Сорбфил 4.000 при длине волны 254 нм с обработкой изображений в программе Sorbfil TLC View (ООО «ИМИД», Россия). Использовали стандартный образец 20Е (ООО «Геофарм», Россия). Растительные экстракты дополнительно очищали оксидом алюминия [15], из крови 20Е извлекали твёрдофазной экстракцией на сополимере дивинилбензола и N-винилпирролидона (HLB-картридж, Китай) [16].

Химический состав используемых комбикормов и помёта определяли в аналитической лаборатории ПФИЦ УрО РАН с применением методов исследований⁵.

По проведенному анализу химического состава типовых комбикормов, скармливаемых молодняку кур-несушек при проведении научно-хозяйственного опыта, энергетическая и протеиновая питательность комбикорма составила: в контрольной группе 11,97 МДж/кг

обменной энергии (ОЭ) и 17,17 % сырого протеина (СП) (норма по ГОСТ 18221-2018⁶: 12,14 МДж/кг и 17 % СП соответственно); в первой опытной группе – 11,96 МДж/кг ОЭ и 17,20 % СП; во второй опытной – 11,95 МДж/кг ОЭ и 17,23 % СП. Для изучения переваримости и использования питательных и минеральных веществ комбикормов провели физиологический опыт по методике⁷. Из каждой экспериментальной группы отобрали по 5 голов молодой яичной птицы, которая содержалась в одном помещении, но каждая группа была размещена в отдельной клетке. Учетный период физиологического опыта длился 10 дней, в течение этого периода условия кормления и содержания были аналогичными тем, что применяли в научно-хозяйственном опыте.

Определяли показатели биохимического состава крови птицы по методам⁸ в аналитической лаборатории ГУВК «Пермский ветеринарный диагностический центр». В начале опыта пробы крови отбирали путем декаптации у молодняка кур-несушек в возрасте 8 дней, в конце опыта – из подкрыловой вены у 5 голов птицы из каждой экспериментальной группы в возрасте 23-х недель.

Статистическую обработку данных выполняли с использованием программы Excel и применением критериев достоверности различий, используя три уровня надежности прогноза (* $p < 0,05$; ** $p < 0,01$ и *** $p < 0,001$) по критерию Стьюдента⁹.

Результаты и их обсуждение. В образце экспериментальной фитодобавки из левзеи сафлоровидной определён основной экидестероид, которым является 20-гидроксизекдизон, концентрация которого составила $0,40 \pm 0,05$ % на абсолютно сухое вещество – норма содержания 20Е не менее 0,1 % [17].

Таким образом, доза потребляемого с кормом 20Е в конце опыта составила 7,5 и 15,0 мг на кг массы тела в день в первой и второй опытных группах соответственно. Проверили содержание 20Е в крови молодняка кур-несушек второй опытной группы через десять дней

⁵Косолапов В. М., Драганов И. Ф., Чуйков В. А., Худякова Х. К., Коровина Л. М., Воронкова Ф. В., Мамева М. В. Методы анализа кормов. М.: Угрешская типография, 2011. 219 с.

⁶ГОСТ 18221-2018. Комбикорма полнорационные для сельскохозяйственной птицы. Общие технические условия. М.: Стандартинформ, 2018. 19 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293735/4293735613.pdf>

⁷Методика проведения научных и производственных исследований по кормлению сельскохозяйственной птицы: рекомендации. Под общ. ред. В. И. Фисинина. Сергиев Посад, 2013. 52 с.

⁸Кондрахин И. П., Архипов А. В., Левченко В. И., Таланов Г. А., Фролова Л. А., Новиков В. Э. Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики. М.: Колос, 2004. 520 с.

⁹Плохинский Н. А. Алгоритмы биометрии. М., 1980. 150 с.

после последнего кормления фитодобавкой из левзеи сафлоровидной, которое составило 50 нг/мл (100 мкМ), что свидетельствует об эффективности и выраженном последствии фитодобавки, поскольку такое содержание 20Е в крови обеспечивает анаболическое действие [18, 19]. Для сравнения у человека при приёме сопоставимой дозы 20Е (1400 мг в день) его концентрация в крови достигла максимума 710 нг/мл через 3,5 часа, но очень быстро падала, период полувыведения составил менее

4 часов, и через 24 часа его содержание было значительно ниже 50 нг/мл [20].

Экспериментальные данные исследований, приведенные в таблице 1, свидетельствуют о том, что за период научно-хозяйственного опыта (со 2-ой по 23-ю неделю выращивания) количество общего белка в сыворотке крови молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп увеличилось на 32,90 % ($p<0,05$) и 41,53 % ($p<0,01$) соответственно, у птицы контрольной группы – на 22,78 %.

*Таблица 1 – Биохимические показатели крови молодняка кур-несушек ($M\pm m$, $n = 5$) /
Table 1 – Biochemical parameters of blood of young laying hens ($M\pm m$, $n = 5$)*

Показатель / Indicator	Норма / Norm	Группа / Group		
		контрольная / control	первая опытная / first experimental	вторая опытная / second experimental
В начале опыта / At the beginning of the experiment				
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	43,0–59,0	42,44±0,23	42,79±0,27	41,32±0,39
Альбумины, % / Albumins, %	31,4–35,1	28,13±0,21	25,34±0,35	29,19±0,13
α-глобулины, % / α-globulins, %	17,3–19,2	16,31±1,46	16,11±1,30	15,15±1,25
β-глобулины, % / β-globulins, %	10,9–12,8	12,5±1,12	12,7±1,13	13,16±0,95
γ-глобулины, % / γ-globulins, %	35,1–37,1	27,5±1,12	26,7±1,13	27,16±0,95
А/Г / A/G	-	0,39	0,34	0,42
Общий кальций, ммоль/л / Total calcium, mmol/l	3,75–6,75	4,01±0,02	4,22±0,06	4,32±0,01
Неорганический фосфор, ммоль/л / Inorganic phosphorus, mmol/l	1,23–1,81	1,25±0,02	1,26±0,02	1,21±0,01
Глюкоза, ммоль/л / Glucose mmol/l	4,44–7,77	4,38±0,05	4,37±0,04	4,41±0,07
Каротин, мкг/л / Carotene, mcg/l	30–300	192,5±1,22	191,7±1,34	191,6±0,55
В конце опыта / At the end of the experiment				
Общий белок, г/л / Total protein, g/l	43,0–59,0	52,11±0,25	56,87±1,31* ^{##}	58,48±1,21*** ^{###}
Альбумины, % / Albumins, %	31,4–35,1	31,43±0,21	32,84±0,15*** ^{###}	35,79±0,51*** ^{###}
А-глобулины, % / α-globulins, %	17,3–19,2	17,42±0,26	18,10±0,30	18,94±0,19*** ^{###}
β-глобулины, % / β-globulins, %	10,9–12,8	21,41±1,22	17,56±1,34	15,11±0,55
γ-глобулины, % / γ-globulins, %	35,1–37,1	33,50±0,31	35,70±0,42* ^{##}	36,16±0,21*** ^{###}
А/Г / A/G	-	0,43	0,46	0,52
Общий кальций, ммоль/л / Total calcium, mmol/l	3,75–6,75	5,01±0,02	5,31±0,06* ^{##}	5,44±0,01
Неорганический фосфор, ммоль/л / Inorganic phosphorus, mmol/l	1,23–1,81	1,35±0,02	1,36±0,02	1,40±0,01
Глюкоза, ммоль/л / Glucose mmol/l	4,44–7,77	5,31±0,05	5,33±0,04* ^{##}	5,42±0,07
Каротин, мкг/л / Carotene, mcg/l	30,0–300,0	231,50±1,22	309,71±1,34*** ^{###}	311,11±0,55*** ^{###}

Примечания: контрольная группа – основной рацион (ОР); первая опытная группа – ОР + фитодобавка из левзеи сафлоровидной 3,0 % от массы сухого вещества комбикорма; вторая опытная группа – ОР + фитодобавка из левзеи сафлоровидной 6,0 % от массы сухого вещества комбикорма; достоверно в сравнении с началом опыта при ^{*} $p<0,05$; ^{**} $p<0,01$; достоверно в сравнении с контролем [#] $p<0,05$; ^{##} $p<0,01$ /

Notes: the control group received a standard farm diet, the first experimental group received a standard farm diet plus a phyto-supplement from *Leuzea carthamoides* in the amount of 3.0 % to the weight of the dry matter of the feed, the second experimental group received a standard farm diet plus a phyto-supplement from *Leuzea carthamoides* in the amount of 6.0 % to the weight of the dry matter of the feed; the results were significantly different compared with the beginning of the experiment at ^{*} $p<0.05$; ^{**} $p<0.01$; the results were significantly different compared with the control group at [#] $p<0.05$; ^{##} $p<0.01$

Более высокое содержание общего белка в сыворотке крови отмечено у молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп в конце опыта, в комбикорм которым (по структуре сухого вещества) добавляли, содержащую адаптогены, кормовую фитодобавку из левзеи сафлоровидной в количестве 3,0 и 6,0 %. Уровень общего белка в крови молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп находился на верхней границе нормы и был выше на 9,13 % ($p < 0,05$) и на 12,22 % ($p < 0,01$) соответственно по сравнению с контролем.

Достоверное увеличение содержания общего белка в сыворотке крови у молодняка птицы опытных групп по сравнению с контрольной свидетельствует о выраженном стимулирующем влиянии адаптогенов кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной на белок-синтезирующую функцию организма молодняка птицы опытных групп, что согласуется с исследованиями [21].

В течение опытного периода отмечено увеличение показателей количества альбуминов в сыворотке крови у молодняка кур-несушек первой опытной группы на 29,59 % ($p < 0,01$), второй опытной – на 22,61 % ($p < 0,01$), контрольной группы – на 11,73 %.

Данные по содержанию фракции альбуминов у молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп в конце опыта, в рационе которых содержались адаптогены левзеи сафлоровидной, были достоверно выше по сравнению с идентичными показателями сверстниц контрольной группы – на 4,48 % ($p < 0,01$) и на 13,87 % ($p < 0,01$) соответственно.

Анализируя данные биохимического состава крови, необходимо отметить, что увеличение содержания общего белка в сыворотке крови молодняка кур-несушек происходило за счет альбуминовой фракции. При включении адаптогенов левзеи сафлоровидной в рацион птицы первой и второй опытных групп в ее крови отмечено повышение уровня альбуминов и снижение уровня суммарных глобулинов в пределах физиологической нормы по сравнению с аналогами контрольной группы. Об этом свидетельствует и альбумин-глобулиновый коэффициент (А/Г), отражающий состояние белкового обмена, который был выше в крови цыплят первой и второй опытных групп относительно контроля на 0,7 и 2,09 % соответственно. Ввиду того, что альбуминовая фракция является наиболее мелкодисперсной, то,

вероятно, она легко мобилизуется для синтеза тканевых белков интенсивно растущего организма молодняка кур-несушек [22].

Из общего количества глобулинов сыворотки крови наблюдали повышение содержания α - и γ -глобулинов, α -глобулины образуются гликопротеинами и являются активными переносчиками различных веществ крови, γ -глобулины выполняют главным образом функцию защиты, являясь защитными антителами (иммуноглобулинами). Уровень содержания α - и γ -глобулинов у молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп зафиксирован выше в конце опыта – на 3,90 и 8,72 % ($p < 0,01$) и на 6,56 % ($p < 0,05$) и 7,94 % ($p < 0,01$) соответственно по сравнению с аналогами контрольной группы.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что величина показателя содержания β -глобулиновой фракции в сыворотке крови всего подопытного молодняка кур-несушек находилась в пределах физиологической нормы, но прослеживается уменьшение количества β -глобулинов у молодняка птицы первой и второй опытных групп относительно контроля в конце опыта – в среднем на 17,98 и 29,43 % соответственно. Общеизвестно, что β -глобулины активно взаимодействуют с липидами крови, снижение их концентрации свидетельствует о том, что в крови цыплят всех опытных групп идет перераспределение синтеза соответствующих белков, направленное на биосинтез альбуминов и α -глобулинов, которые являются основными трофическими белками организма и взаимодействуют с углеводами и мукополисахаридами, а также γ -глобулинов, направленных на защиту организма птицы. У молодняка кур-несушек опытных групп рост концентрации α - и γ -глобулинов в пределах физиологической нормы свидетельствует о повышении общей резистентности организма птицы под влиянием адаптогенов левзеи [23].

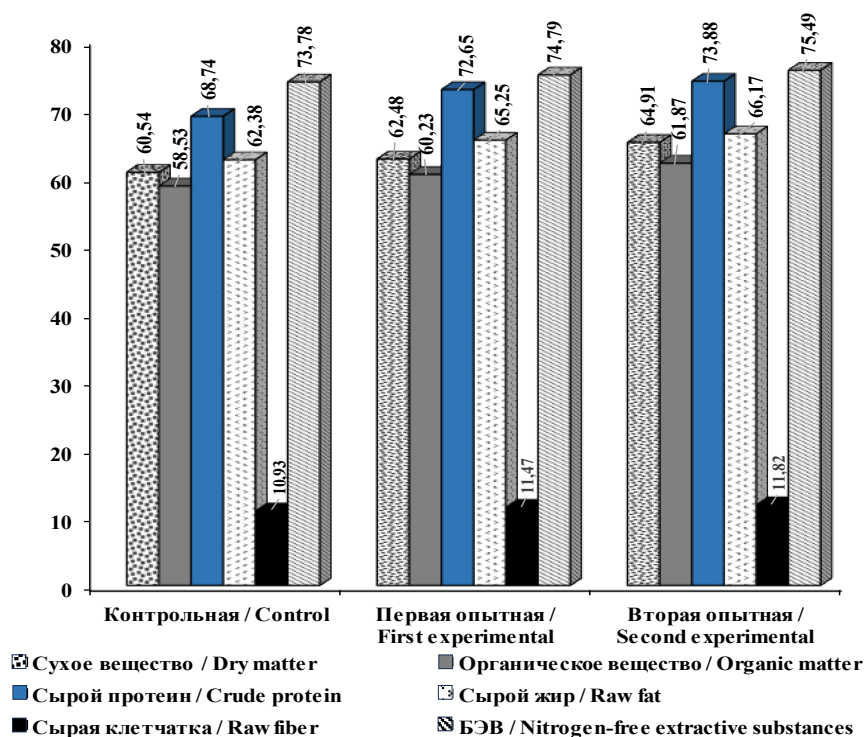
Изучение содержания общего кальция, неорганического фосфора и глюкозы в крови птицы показало, что в первой и второй опытных группах данные значения в конце опыта имели тенденцию незначительного их доминирования по сравнению с птицей контрольной группы – на 5,98 ($p < 0,05$) и 8,58 %; 0,74 и 3,70 %; 0,37 ($p < 0,05$) и 2,07 % соответственно.

Молодняком кур-несушек первой и второй опытных групп по сравнению с контролем было больше потреблено в суточном рационе сухого вещества – на 2,27 и на 5,68 % соответ-

ственно. В рационах молодняка кур-несушек контрольной группы по сравнению с птицей первой и второй опытных обеспеченность сырой клетчаткой была ниже – на 2,79 и 6,97 % соответственно. Наибольшее содержание сырой клетчатки в рационах птицы опытных групп, ввиду высокого качества кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной, не повлияло на уровень обменной энергии в их суточном рационе. Сырая клетчатка во второй половине выращивания благотворным образом влияла на развитие пищеварительного тракта, величину зоба, а также на аппетит растущей птицы.

Включение в структуру комбикорма кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной

для молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп в количестве 3,0 и 6,0 % от массы СВ комбикорма соответственно привело к определённым изменениям коэффициентов переваримости питательных веществ рациона. У молодняка кур-несушек контрольной группы коэффициенты переваримости были ниже по сравнению с аналогами первой и второй опытных групп: сухого вещества на 3,20 и 7,21 % ($p < 0,01$); органического вещества – на 2,90 % ($p < 0,05$) и 5,70 % ($p < 0,01$); сырого протеина – на 5,68 и 7,47 % ($p < 0,05$); сырого жира – на 4,60 и 6,07 % ($p < 0,05$); сырой клетчатки – на 4,94 и 8,14 % ($p < 0,05$); безазотистых экстрактивных веществ – на 1,36 и 2,31 % соответственно (рис.).



*Рис. Переваримость питательных веществ рациона молодняком кур-несушек, % /
Fig. Digestibility of nutrients in the diet of young laying hens, %*

Примечание: состав рационов см. в прим. к таблице № 1 / Note: see the notes to table 1 for the composition of the diets

Коэффициенты переваримости питательных веществ суточного рациона у молодняка кур-несушек первой и второй опытных групп зафиксированы выше, что позволяет сделать вывод о положительном влиянии кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной на процессы пищеварения в желудочно-кишечном тракте птицы опытных групп.

В таблице 2 представлена информация о балансе и использовании азота подопытным молодняком кур-несушек. Во всех группах был

отмечен положительный баланс азота. По сравнению с контрольной группой, молодняк кур-несушек из первой и второй опытных групп лучше усваивал азот – на 1,89 п. п. ($p < 0,01$) и 4,58 п. п. ($p < 0,001$) соответственно. Введение в состав комбикорма молодняка кур-несушек второй опытной группы фитодобавки из левзеи сафлоровидной в количестве 6,0 % от массы сухого вещества комбикорма способствует большему отложению белка в организме птицы.

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: КОРМОПРОИЗВОДСТВО.
КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ /
ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: FODDER PRODUCTION. LIVESTOCK FEEDING**

Таблица 2 – Суточный баланс и использование азота кормосмеси (комбикорма) подопытными курами-несушками ($M \pm m$, $n = 5$) /
Table 2 – Daily balance and nitrogen use of feed mixture (compound feed) by experimental laying hens ($M \pm m$, $n = 5$)

Группа / Group	Показатель / Indicator			
	принято с кормом, г / accepted by feed, g	выделено с пометом, г / isolated with a litter, g	усвоено организмом, г / absorbed by the body, g	коэффициент усвоения, % / assimilation rate, %
Контрольная / Control	2,12±0,12	0,66±0,01	1,46±0,01	69,08
Первая опытная / First experimental	2,17±0,08	0,63±0,03	1,54±0,01**	70,97
Вторая опытная / Second experimental	2,24±0,04	0,59±0,02*	1,65±0,02***	73,66

Примечания: состав рационов см. в прим. к таблице № 1; достоверно в сравнении с контрольной группой при * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$ /
Notes: see the notes to table 1 for the composition of the diets; significantly compared with the control group at * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$

Наибольший коэффициент усвоения азота зарегистрировали у молодняка кур-несушек второй опытной группы – 73,66 % ($p < 0,001$). В первой опытной группе коэффициент усвоения азота ниже, чем во второй, но выше, чем в контрольной.

Минеральные вещества входят в состав или активируют действие ферментов, гормонов,

витаминов и тем самым участвуют во всех видах обмена веществ в организме, влияют на естественную резистентность, кроветворение, свертывание крови [24].

Суточный баланс, использование кальция и фосфора подопытным ремонтным молодняком кур-несушек представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Суточный баланс, использование кальция и фосфора молодняком кур-несушек ($M \pm m$, $n = 5$) /
Table 3 – Daily balance and use of calcium and phosphorus by young laying hens ($M \pm m$, $n = 5$)

Группа / Group	Показатель / Indicator			
	принято с кормом, г / accepted by feed, g	выделено с пометом, г / isolated with a litter, g	усвоено организмом, г / absorbed by the body, g	коэффициент использования, % / utilization rate, %
Кальций / Calcium				
Контрольная / Control	2,91±0,06	1,73±0,03	1,18±0,05	40,63
Первая опытная / First experimental	2,85±0,09	1,65±0,04	1,20±0,04	42,05
Вторая опытная / Second experimental	2,91±0,06	1,62±0,05*	1,29±0,01	44,20
Фосфор / Phosphorus				
Контрольная / Control	0,42±0,04	0,25±0,02	0,17±0,03	41,31
Первая опытная / First experimental	0,44±0,02	0,25±0,01	0,19±0,02	42,75
Вторая опытная / Second experimental	0,49±0,03	0,27±0,01	0,22±0,03	44,81

Примечания: состав рационов см. в прим. к таблице № 1; достоверно в сравнении с контрольной группой при * $p < 0,05$ /
Notes: see the notes to table 1 for the composition of the diets; significantly compared with the control group at * $p < 0,05$;

Молодняк кур-несушек второй опытной группы использовал кальций больше по сравнению со сверстниками контрольной – на 3,57 п. п., с первой опытной – на 1,42 п. п. ($p < 0,05$).

Увеличение отложения кальция и фосфора в организме растущего молодняка кур-несушек опытных групп по сравнению с контрольной может указывать на более интенсивный

рост костной ткани, что является необходимым условием для активного увеличения живой массы птицы.

Обеспечение птицы фосфором также является важным фактором, так как этот элемент входит в состав фосфолипидов, которые играют ключевую роль в формировании клеточных мембран и регуляции их проницаемости.

Недостаток фосфора может приводить к нарушению яйценоскости и утончению яичной скорлупы

у несушек. Баланс использования фосфора организмом птицы демонстрирует схожую закономерность с его содержанием в крови. Молодняк кур-несушек первой и второй опытных групп более эффективно использовали фосфор из улучшенных фитодобавкой комбикормов,

чем птица из контрольной – на 1,44 и 3,50 п. п. соответственно.

Для оценки влияния кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной на рост и развитие подопытной птицы по экспериментальным данным, изложенным в таблице 4, был проведён анализ изменения живой массы цыплят по возрастным периодам.

Таблица 4 – Живая масса и сохранность молодняка кур-несушек в опыте (M±m, n = 35) /

Table 4 – Live weight and livability of chickens during the experiment period (M±m, n = 35)

Показатель / Indicator	Группа / Group		
	контрольная / control	первая опытная / first experimental	вторая опытная / second experimental
Количество голов в начале опыта / The number of heads at the beginning of the experiment	35	35	35
Количество голов в конце опыта / The number of heads at the end of the experiment	35	35	35
Сохранность, % / Livability, %	100,0	100,0	100,0
Масса цыплят, г / Weight of chickens, g:			
в начале опыта (1 неделя) / the beginning of the experiment (1 week)	76,3±2,23	76,4±2,12	76,2±2,31
в 8-недельном возрасте / at 8 weeks of age	677,7±2,78	683,3±2,54	698,6±2,45***
в 20-недельном возрасте / at 20 weeks of age	1554,6±5,64	1608,5±4,55***	1658,4±4,49***
в конце опыта (23 недели) / the end of the experiment (23 weeks)	1798,5±6,99	1816,9±7,05	1897,8±7,08***
Масса цыплят в конце эксперимента, в % к контрольной группе / The weight of chickens at the end of the experiment, in % of the control group	100,0	101,02	105,52
Абсолютный прирост, г / Absolute gain, g	1722,2±5,40	1740,5±4,80*	1821,6±6,12***
Среднесуточный прирост, г / Average daily gain, g	11,18±0,03	11,30±0,04*	11,83±0,01***
Относительный прирост, % / Relative gain, %	225,7	227,8	239,1
Кратность роста, раз / Multiplicity of growth, times	22,57	22,78	23,90

Примечания: состав рационов см. в прим. к таблице № 1; достоверно в сравнении с контрольной группой при *p<0,05; ***p<0,001 /

Notes: see the notes to table 1 for the composition of the diets; significantly compared with the control group at *p<0.05; ***p<0.001

По всем рассматриваемым показателям результаты, полученные в первой и второй опытных группах, превосходили таковые в контрольной. Так, в недельном возрасте живая масса подопытных курочек во всех группах в среднем составила 76,2–76,4 г, в 20-недельном возрасте в разрезе групп имела определенное различие. В первой опытной группе она составила 1608,5 г (p<0,001), во второй опытной – 1658,4 г (p<0,001), 1554,6 г – в контрольной. Масса цыплят в первой и второй опытных группах по окончании эксперимента по отношению к контрольной составила 101,02 и 105,52 % соответственно. В результате проведенных

исследований в опытных группах получены большие результаты по абсолютным, среднесуточным и относительным приростам. Если проанализировать полученные данные по группам, можно сделать вывод о том, что результаты первой опытной группы занимают промежуточное положение между контрольной и второй опытной. Молодняк кур-несушек второй опытной группы имел наибольшие результаты интенсивности роста.

Эффект в увеличении интенсивности роста молодняка кур-несушек опытных групп в сравнении с контролем можно объяснить содержанием в кормовой фитодобавке из

левзеи сафлоровидной 20-гидроксиэкдизона. На анаболическую активность экдистероида ссылаются и ряд ученых, так как дозы экдистероидов, способные вызывать анаболический эффект у животного, варьируют в диапазоне от 0,020–0,035 мг/кг – низкие дозы, до 5–20 мг/кг – высокие дозы¹⁰. Других факторов, которые могли бы оказать влияние на результаты динамики роста, в экспериментальной работе выявлено не было.

Наши результаты согласуются с экспериментальными данными исследований Н. П. Тимофеева (1999) [25]. Опыт проводили на птицефабрике «Сольвычегодская» Архангельской области (кросс Ломан-Браун). В производственных условиях в опытной группе молодняк птиц в течение 40 дней получал дополнительно к рациону сухую фитомассу из листевой части *R. carthamoides* из расчета 20 г на 1 т живого веса (доза 16,8 мкг/кг 20Е, или 10-11 М). Получили следующий анаболический эффект в сравнении с контролем: курочки 136,9 %; петушки 140,0 %. Последствие на 30-й день после отмены кормовой добавки составило 114,2 и 115,5 % соответственно. Иммуно-резистентный эффект сказался на лучшей сохранности молодняк – уровень падежа у петушков снизился с 3,73 до 2,5 %, у курочек – с 3,25 до 2,08 %.

Соблюдение режима и норм кормления, создание благоприятных условий содержания в комплексе с воздействием адаптогенов левзеи сафлоровидной на обменные процессы в организме молодняк кур-несушек позволило нам обеспечить 100%-ную сохранность птицы в опытных группах в течение всего периода научно-хозяйственного опыта.

Заключение. В результате анализа кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) на предмет содержания исследуемых экстрактивных веществ (экдистероиды) определяли основной экдистероид – 20-гидроксиэкдизон, концентрация которого составила $0,40 \pm 0,05$ % на абсолютно сухое вещество.

Включение в структуру комбикорма кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной для молодняк кур-несушек первой и второй

опытных групп в количестве 3,0 и 6,0 % от массы сухого вещества комбикорма способствовало:

- увеличению коэффициентов переваримости питательных веществ комбикормов у молодняк кур-несушек опытных групп по сравнению с аналогами контрольной: сухого вещества на 3,20 и 7,21 % ($p < 0,01$); органического вещества – на 2,90 % ($p < 0,05$) и 5,70 % ($p < 0,01$); сырого протеина – на 5,68 и 7,47 % ($p < 0,05$); сырого жира – на 4,60 и 6,07 % ($p < 0,05$); сырой клетчатки – на 4,94 и 8,14 % ($p < 0,05$); безазотистых экстрактивных веществ – на 1,36 и 2,31 % соответственно;

- коэффициент усвоения азота у молодняк кур-несушек опытных групп был выше по сравнению с аналогами контрольной – на 1,89 % ($p < 0,01$) и 4,58 % ($p < 0,001$) соответственно;

- коэффициенты использования кальция и фосфора у молодняк кур-несушек первой и второй опытных групп превышали показатели контрольной – на 1,42 п. п. ($p < 0,05$) и 3,57 п. п., 1,44 и 3,50 п. п. соответственно;

- выявлено, что в крови уровень содержания α - и γ -глобулинов у молодняк кур-несушек первой и второй опытных групп был выше в конце опыта – на 3,90 и 8,72 % ($p < 0,01$); 6,56 % ($p < 0,05$) и 7,94 % ($p < 0,01$) соответственно по сравнению с аналогами контрольной группы;

- за период эксперимента абсолютный прирост живой массы молодняк кур-несушек в первой и второй опытных группах имел преимущество по сравнению с контролем – на 1,06 и 5,77 % соответственно.

В ходе исследований получили более высокий уровень показателей переваримости питательных веществ рациона, азотного и минерального балансов, показателей биохимического состава крови, абсолютного прироста у молодняк кур-несушек второй опытной группы, поэтому полагаем, что включение в структуру комбикормов кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной в количестве 6,0 % от сухого вещества комбикорма будет наиболее целесообразным с целью повышения обменных процессов в организме птицы в период выращивания.

¹⁰Тимофеев Н. П., Ивановский А. А. Анаболический эффект малых доз препарата рапонтика. Международное совещание по фитоэкдистероидам. Сыктывкар: институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 1996. С. 132–133.
URL: https://leuzea.Ru/sciens/7-timofeev_anabolic_effect_low_doses-rapontik.pdf

Список литературы

1. Овчинников А. А. Влияние кормовых добавок на защитные силы организма ремонтного молодняка и кур-несушек. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2024;(2(44)):59–67. DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2024-2-44-59-67> EDN: WMZFQO
2. Шацких Е. В., Латыпова Е. Н. Показатели крови и продуктивность кур при использовании в рационе фитобиотических препаратов. Аграрный вестник Урала. 2023;23(8):78–88. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-08-78-88> EDN: CBPVJK
3. Морозков Н. А., Суханова Е. В., Кайгородов Р. В., Жданова И. Н., Терентьева Л. С. Эффективность использования фитодобавки из астрагала нуттового в рационах кур-несушек. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(4):664–673. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673> EDN: TKESQI
4. Dinan L., Mamadalieva N. Z., Lafont R. Dietary Phytoecdysteroids. Handbook of Dietary Phytochemicals. 2020;79:1–54. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1745-3_35-1
5. Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Экспериментальный фитобиотик Фитостимплюс и его применение телятам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023; 24(3):478–486. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486> EDN: FCPIET
6. Gioia F. D., Petropoulos S. A. Chapter seven-phytoestrogens, phytoosteroids and saponins in vegetables: biosynthesis, functions, health effects and practical applications. Advances in Food and Nutrition Research. 2019;90:351–421. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.004>
7. Buniam J., Chukijrungrat N., Rattanavichit Y., Surapongchai J., Weerachayaphom J., Bupha-Intr T., Saengsirisuwan V. 20-Hydroxyecdysone ameliorates metabolic and cardiovascular dysfunction in high-fat-high-fructose-fed ovariectomized rats. BMC Complementary Medicine and Therapies. 2020;20(1):140. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-020-02936-1> EDN: CHXVCZ
8. Khaziev D., Galina C., Gadiev R., Valitov F., Gumarova G., Galyautdinov I. Phytoecdysteroids from *Serratula coronata* when growing ducklings. Research in Veterinary Science. 2020;128:170–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.11.012> EDN: TYIWTQ
9. Морозков Н. А., Суханова Е. В., Жданова И. Н., Пунегов В. В. Влияние разных доз кормовой фитодобавки из левзеи сафлоровидной на телят. Ветеринария и кормление. 2023;(7):46–50. DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-11> EDN: BTGFQA
10. Морозков Н. А., Терентьева Л. С., Суханова Е. В., Волошин В. А. Витаминно-травяная мука из левзеи сафлоровидной (*Rhaponticum carthamoides*) в рационах молочных коров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):570–580. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.570-580> EDN: CGWGPV
11. Dinan L., Dih 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>
12. Ивановский А. А. Влияние фитобиотика с экстрактом лабазника на клинико-гематологический статус телят постмолочного периода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(2):396–403. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.396-403> EDN: MSMIBE
13. Костомахин Н., Иванов А. Травяная мука – белковый и витаминный корм. Комбикорма. 2013;(6):71–73.
14. Todorova V., Savova M. S., Ivanova S., Ivanov K., Georgiev M. I. Anti-Adipogenic Activity of *Rhaponticum carthamoides* and Its Secondary Metabolites. Nutrients. 2023;15(13):3061. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15133061> EDN: KDXVKM
15. Карусевич А. А., Бузук Г. Н. Применение алюминия оксида при очистке водно-спиртового извлечения из листьев левзеи сафлоровидной. Вестник фармации. 2016;(1(71)):48–54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25767445> EDN: VRWPFT
16. Parr M. K., Ambrosio G., Wuest B., Mazzarino M., de la Torre X., Sibilia F. et al. Targeting the administration of ecdys-terone in doping control samples. Forensic Toxicology. 2020;38:172–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11419-019-00504-y>
17. Тимофеев Н. П. Опыт культивирования левзеи сафлоровидной *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iliin в качестве ресурсного источника экидистерона в условиях Архангельской области. Сельскохозяйственная биология. 2023;58(1):114–141. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2023.1.114rus> EDN: LJQSJZ
18. Bathori M., Toth N., Hunyadi A., Marki A., Zador E. Phytoecdysteroids and anabolic-androgenic steroids – structure and effects on humans. Current Medical Chemistry. 2008;15(1):75–91. DOI: <https://doi.org/10.2174/092986708783330674>
19. Gorelick-Feldman J., Maclean D., Ilic N., Poulev A., Lila M. A., Cheng D., Raskin I. Phytoecdysteroids increase protein synthesis in skeletal muscle cells. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2008;56(10):3532–3537. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf073059z>
20. Dih W., Tourette C., Del Signore S., Daudigny L., Balducci C., Dupont P. et al. A Phase 1 study for safety and pharmacokinetics of BIO101 (20-hydroxyecdysone) in healthy young and older adults. Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle. 2023;14(3):1259–1273. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcsm.13195>
21. Саломатин В. В., Ряднов А. А., Ряднова Т. А., Ряднова Ю. А. Влияние биологически активной добавки на морфологические и биохимические показатели крови цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2021;(3):45–49. DOI: <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-3-45-49> EDN: YSCYHT
22. Лоретц О. Г., Горелик О. В., Зяблицева М. А., Белококов А. А. Динамика морфологических и биохимических показателей крови цыплят-бройлеров при использовании в рационе микробиологических препаратов. Аграрный вестник Урала. 2017;(11(165)):25–31. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32299264> EDN: YMDFUL
23. Вахрушева Т. И. Биохимические и морфологические показатели крови цыплят под влиянием шротов левзеи, родиолы розовой и энтерофара. Вестник КрасГАУ. 2014;(6(93)):206–210. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21974519> EDN: SMWOWB

24. Щетинина С. Ю. Значение минеральных веществ для здоровья человека. *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2024;(4-4(91)):27–31. DOI: <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-4-27-31> EDN: FOYAMR

25. Тимофеев Н. П. Новая технология и производственная эффективность высококачественного растительного сырья рапонтника сафлоровидного [анаболический и иммунно-стимулирующий эффекты малых доз левзеи в животноводстве]. Новые и нетрадиционные растения и перспективы их практического использования: мат-лы III Междунар. симпозиума. М.: РАСХН, 1999. Т. 3. С. 465–467. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32412631> EDN: YOJHCW

References

1. Ovchinnikov A. A. The influence of feed additives on the body's defenses in replacement young animals and laying hens. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova*. 2024;(2(44)):59–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2024-2-44-59-67>

2. Shatskikh E. V., Latypova E. N. Blood parameters and productivity of chickens when using phytobiotic preparations in the diet. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;23(8):78–88. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-08-78-88>

3. Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Kaigorodov R. V., Zhdanova I. N., Terentyeva L. S. The effectiveness of using plant-based feed supplement made of *Astragalus cicer* in the diets of laying hens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(4):664–673. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.4.664-673>

4. Dinan L., Mamadalieva N. Z., Lafont R. Dietary Phytoecdysteroids. *Handbook of Dietary Phytochemicals*. 2020;79:1–54. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-13-1745-3_35-1

5. Ivanovsky A. A., Latushkina N. A. Experimental phytobiotic Phytostimplus and its application to calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):478–486. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486>

6. Gioia F. D., Petropoulos S. A. Chapter seven-phytoestrogens, phytosteroids and saponins in vegetables: biosynthesis, functions, health effects and practical applications. *Advances in Food and Nutrition Research*. 2019;90:351–421. DOI: <https://doi.org/10.1016/bs.afnr.2019.02.004>

7. Buniam J., Chukijrungrat N., Rattanavichit Y., Surapongchai J., Weerachayaphorn J., Bupha-Intr T., Saengsirisuwan V. 20-Hydroxyecdysone ameliorates metabolic and cardiovascular dysfunction in high-fat/high-fructose-fed ovariectomized rats. *BMC Complementary Medicine and Therapies*. 2020;20(1):140. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12906-020-02936-1>

8. Khaziev D., Galina C., Gadiev R., Valitov F., Gumarova G., Galyautdinov I. Phytoecdysteroids from *Serratula coronata* when growing ducklings. *Research in Veterinary Science*. 2020;128:170–176. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2019.11.012>

9. Morozkov N. A., Sukhanova E. V., Zhdanova I. N., Punegov V. V. The effect of different doses of fodder additive from leuzea on calves. *Veterinariya i kormlenie*. 2023;(7):46–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2023-7-11>

10. Morozkov N. A., Terentyeva L. S., Sukhanova E. V., Voloshin V. A. Vitamin-herbal flour from *Rhaponticum carthamoides* in the diets of dairy cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(4):570–580. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.570-580>

11. 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>

12. Ivanovsky A. A. The effect of phytobiotic with *F. ulmaria* extract on the clinical and hematological status of post-milk calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(2):396–403. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.2.396-403>

13. Kostomakhin N., Ivanov A. Herbal flour – protein and vitamin food. *Kombikorma*. 2013;(6):71–73. (In Russ.).

14. Todorova V., Savova M. S., Ivanova S., Ivanov K., Georgiev M. I. Anti-Adipogenic Activity of *Rhaponticum carthamoides* and Its Secondary Metabolites. *Nutrients*. 2023;15(13):3061. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu15133061>

15. Karusevich A. A., Buzuk G. N. Application of aluminium oxide in the purification of water-alcohol extraction from *rhaponticum carthamoides* leaves. *Vestnik farmatsii*. 2016;(1(71)):48–54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25767445>

16. Parr M. K., Ambrosio G., Wuest B., Mazzarino M., de la Torre X., Sibilio F. et al. Targeting the administration of ecdysterone in doping control samples. *Forensic Toxicology*. 2020;38:172–184. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11419-019-00504-y>

17. Timofeev N. P. Experience of *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Iliin cultivation as a natural source of ecdysterone under the conditions of the Arkhangelsk region. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2023;58(1):114–141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2023.1.114rus>

18. Bathori M., Toth N., Hunyadi A., Marki A., Zador E. Phytoecdysteroids and anabolic-androgenic steroids – structure and effects on humans. *Current Medical Chemistry*. 2008;15(1):75–91. DOI: <https://doi.org/10.2174/092986708783330674>

19. Gorelick-Feldman J., Maclean D., Ilic N., Poulev A., Lila M. A., Cheng D., Raskin I. Phytoecdysteroids increase protein synthesis in skeletal muscle cells. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(10):3532–3537. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf073059z>

20. Dioh W., Tourette C., Del Signore S., Daudigny L., Balducci C., Dupont P. et al. A Phase 1 study for safety and pharmacokinetics of BIO101 (20-hydroxyecdysone) in healthy young and older adults. *Journal of Cachexia, Sarcopenia and Muscle*. 2023;14(3):1259–1273. DOI: <https://doi.org/10.1002/jcsm.13195>

21. Salomatin V. V., Ryadnov A. A., Ryadnova T. A., Ryadnova Yu. A. The effect of fir-tree based bioactive additive on the morphological and biochemical blood parameters in broilers. *Ptitsevodstvo*. 2021;(3):45–49. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2021-70-3-45-49>

22. Lorets O. G., Gorelik O. V., Zyablitsa M. A., Belookov A. A. Dynamics of morphological and biochemical parameters of blood of chickens-broilers at use in diets of microbiological preparations. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017;(11(165)):25–31. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32299264>

23. Vakhrusheva T. I. Biochemical and morphological chicken blood indices under the influence of protein meal of leuzea, rosewort and enterophar. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2014;(6(93)):206–210. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21974519>

24. Shchetinina S. Yu. The importance of mineral substances for human health. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2024;(4-4(91)):27–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2500-1000-2024-4-4-27-31>

25. Timofeev N. P. New technology and production efficiency of high-quality plant raw materials *rhaponticum carthamoides* [anabolic and immune-stimulating effects of low doses *leuzea carthamoides* in animal industry]. New and non-traditional plants and prospects for their practical use: Proceedings of the III International Conference. The Symposium. Moscow: *RASKhN*, 1999. Vol. 3. pp. 465–467. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32412631>

Сведения об авторах

✉ **Морозков Николай Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории агротехнологий, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-7843>, e-mail: ivanushkizabereznik@yandex.ru

Лепихина Елена Валерьевна, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-1126>

Жданова Ирина Николаевна, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник лаборатории биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0260-6917>

Авдеев Николай Викторович, кандидат биол. наук, заведующий лабораторией биологически активных кормов, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0320-9681>

Ситников Владимир Алексеевич, кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры зоотехнологий, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, Пермь, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0320-9681>

Information about the authors

✉ **Nikolay A. Morozkov**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Perm Research Institute of Agriculture – division of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3454-7843>, e-mail: ivanushkizabereznik@yandex.ru

Elena V. Lepikhina, PhD in Agricultural Science, researcher, the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Research Institute of Agriculture – division of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0419-1126>

Irina N. Zhdanova, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Laboratory of Biologically Active Feed, Perm Research Institute of Agriculture – division of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0260-6917>

Nikolay V. Avdeev, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Biologically Active Feeds, Perm Research Institute of Agriculture – division of the Perm Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pniish@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0320-9681>

Vladimir A. Sitnikov, PhD in Agricultural Science, associate professor, associate professor at the Department of Zootechnology, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Pryanishnikov, 23 Petropavlovskaya str., Perm, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0320-9681>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1098-1111>

УДК 636.082.251:636.082.12

Ограничения использования генеалогических линий голштинского скота в качестве генетического фактора

© 2025. Г. А. Лиходеевский✉, П. С. Богатова, О. Е. Лиходеевская
ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет»,
г. Екатеринбург, Российская Федерация

В современном молочном скотоводстве генеалогические линии традиционно используются для прогнозирования продуктивности, однако их эффективность остается спорной. В данной работе на основе анализа 38 научных публикаций (2012–2024 гг.) и оригинальных данных по 762 коровам голштинской породы из Свердловской области (Россия) изучена связь между линейной принадлежностью наиболее распространенных линий Вис Бэк Айдиал (ВБА), Рефлекшен Соверинг (РС) и показателями молочной продуктивности (удой за 305 дней первой лактации, массовая доля жира и белка в молоке). Анализ научных источников показал, что лишь в 8 из 38 исследований отмечены достоверные различия, при этом результаты разницы в показателях продуктивности между линиями не были однозначными. Статистический анализ оригинальных данных (тест Шапиро-Уилка, U-критерий Манна-Уитни) выявил ненормальное распределение и ограниченную значимость различий между линиями в показателях продуктивности. Чистоты линий быков, семя которых используется в регионе, утрачена уже к третьему поколению. Генетический анализ позволил восстановить генеалогические связи и продемонстрировал смешение линий в маточном поголовье, а именно 40 % родственных связей оказались межлинейными. Оценка генетической дифференциации (F_{st}) показала отсутствие различий между линиями ВБА и РС, в то время как генеалогические сообщества внутри популяции имели более выраженную генетическую обособленность. Результаты свидетельствуют, что генеалогические линии не могут служить надежным инструментом прогнозирования продуктивности из-за недостаточной статистической значимости, высокой степени смешения и отсутствия генетической уникальности. На основании проведенных исследований рекомендуем переход к методам геномной селекции, учитывающим индивидуальные генетические маркеры, а не линейную принадлежность.

Ключевые слова: молочная продуктивность, смешение линий, генетическая дифференциация, селекция, ДНК-биочип

Благодарности: работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (РНФ) грант № 23-26-00260 (<https://rscf.ru/project/23-26-00260/>).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лиходеевский Г. А., Богатова П. С., Лиходеевская О. Е. Ограничения использования генеалогических линий голштинского скота в качестве генетического фактора. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1098–1111. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1098-1111>

Поступила: 27.03.2025

Принята к публикации: 15.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Limitations on the use of genealogical lines in Holstein cattle as a genetic factor

© 2025. Georgiy A. Lihodeevskiy✉, Polina S. Bogatova, Oksana E. Lihodeevskaya
Ural State Agricultural University, Ekaterinburg, Russian Federation

In modern dairy farming, genealogical lines are traditionally used to predict productivity, but their effectiveness remains controversial. In this work, based on the analysis of 38 scientific publications (2012–2024) and original data from 762 Holstein cows in the Sverdlovsk region (Russia), there has been studied the relationship between lineage affiliation of the most common Wis Burke Ideal (WBI) and Reflection Sovereign (RS) lines and milk productivity indicators (milk yield over 305 days of the first lactation, fat and protein percentage in the milk). Analysis of scientific sources showed that only eight out of thirty-eight studies were noted by statistically significant differences, while the results concerning differences in productivity indicators among different lines were not conclusive. Statistical analysis of the original data (Shapiro-Wilk test, Mann-Whitney U-test) revealed non-normal distribution and limited significance of differences between lines in terms of productivity indicators. Line purity of bulls whose semen is used in the region has been lost by the third generation already. Genetic analysis made it possible to reconstruct genealogical connections and demonstrated interline mixing in breeding stock, specifically, 40 % of kinship relationships turned out to be inter-lineage. Evaluation of genetic differentiation (F_{ST}) indicated no difference between WBI and RS lines, whereas genealogical communities within the population exhibited greater genetic distinctiveness. The results prove that genealogical lines cannot serve as reliable tools for predicting productivity due to insufficient statistical significance, high degree of mixing, and lack of genetic uniqueness. According to the research results, it is recommended to take the transition to genomic selection methods that consider individual genetic markers rather than lineage affiliation.

Keywords: *milk productivity, mixing of lines, genetic differentiation, breeding, DNA microarray*

Acknowledgments: the work was supported by the Russian Scientific Foundation (RSF) grant No. 23-26-00260 (<https://rscf.ru/project/23-26-00260/>).

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

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

For citation: Lihodeevskiy G. A., Bogatova P. S., Lihodeevskaya O. E. Limitations on the use of genealogical lines in Holstein cattle as a genetic factor. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2025;26(5):1098–1111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1098-1111>

Received: 27.03.2025

Accepted for publication: 15.10.2025

Published online: 31.10.2025

Современное животноводство, в частности разведение молочного крупного рогатого скота, основывается на генетических данных. Широкое распространение получили технологии ДНК-биочипов и секвенирования, которые позволяют не только выявлять новые локусы хозяйственно полезных признаков, но и могут быть использованы в качестве тестирования поголовья на наличие ранее описанных локусов количественных признаков (QTL), маркеров и мутаций. Связывая фенотипические данные, такие как показатели удою, жирно- и белково-молочность, набор массы, продолжительность лактации, фертильность, устойчивость к заболеваниям, климатическим факторам с результатами генотипирования мы получаем мощный предиктивный инструмент. В ходе развития сельского хозяйства селекционеры использовали различные характеристики родительских форм с целью предсказания характеристики потомков. До сих пор в научных работах для оценки генетического потенциала крупного рогатого скота применяются генеалогические данные, в частности линейная принадлежность. Когда-то это был полезный инструмент, позволяющий разделять особей внутри одной породы, например, по показателям продуктивности, каркасным характеристикам и т. д.

Для краткого обзора в нашей работе рассмотрены результаты исследований с 2012 по 2024 год, в которых изучались различия в показателях продуктивности голштинизированного чёрно-пёстрого и/или голштинского скота, а именно удои, массовая доля жира (МДЖ) и массовая доля белка (МДБ) за первую лактацию с поправкой на 305 дней (табл. 1). В стадах различных регионов России и Казахстана преобладают потомки линий Вис Бек Айдиал (ВБА) и Рефлекшен Соверинг (РС); линии Монтвик Чифтейн (МЧ) и Пабст Говернер (ПГ) составляют меньшинство или вовсе отсутствуют. На линии ВБА и РС приходится большинство особей в стадах от 58,1 до 100 %.

Ни в одной из работ в явном виде не указывается, была ли проведена проверка нормальности распределения изучаемых показателей продуктивности. Из 38 публикаций статистически достоверная разница между линиями отмечена в 8 работах. По удою за 305 дней первой лактации в 21 случае преобладают коровы линии ВБА, в 15 – линии РС, при том, что статистически значимая разница отмечена в 3 и 2 случаях соответственно. Показатели массовой доли жира и белка, аналогично, имеют весьма слабую зависимость от линии. Так, в 18 источниках показатели МДЖ у линии Вис Бек Айдиал превышают показатели линии Рефлекшен Соверинг и в 16 источниках, наоборот. Массовая доля белка отличается в большую сторону у потомков линии ВБА в 12 случаях, в 8 – у потомков линии Рефлекшен Соверинг. В трёх работах [10, 11, 17], где представлена продуктивность в зависимости от линии, у группы матерей и их дочерей высокими показателями могли отличаться, например, матери линии ВБА, а их дочери, наоборот, уступали группе дочерей линии РС. Также не прослеживается однозначное преимущество одной линии над другой по регионам – в Свердловской области чаще оказываются более продуктивными коровы линии РС, в Республике Марий Эл – линии ВБА, однако в Орловской области, Красноярском крае или Костанайской области нет преобладания какой-либо линии.

Мы полагаем, что использование генеалогических линий голштинского скота для оценки продуктивности дочерей имеет ряд недостатков, ограничений и не имеет прогностической силы.

Цель исследований – изучить связь между линейной принадлежностью наиболее распространённых линий голштинской породы крупного рогатого скота и показателями молочной продуктивности; обосновать причины, по которым генеалогические линии не могут служить надёжным инструментом прогнозирования продуктивности.

Таблица 1 – Сводная таблица результатов сравнения генеалогических линий голштинского скота по показателям продуктивности за 305 дней первой лактации /
Table 1 – Summary table of comparison results for Holstein genealogical lines according to productivity indicators over 305 days of the first lactation

Линия / Line	Удой, кг / Yield, kg	МДЖ, % / FР, %	МДБ, % / РР, %	Число голов / Number of heads	Страна, Округ / Country and Federal districts	Регион / Region	Источник / Literature	
1	2	3	4	5	6	7	8	
ВБА/РС / WBI/RS	8015±109,83/7579±108,00*	3,83±0,02/3,85±0,01	3,20±0,01/3,20±0,01	43/98	РФ, Южный / Russian Federation, Southern	Волгоградская область / Volgograd Oblast	1	
ВБА/РС / WBI/RS	7676,5±214/7310,6±264	3,65±0,01/3,69±0,03	3,21±0,013/3,22±0,015	34/41			2	
ВБА/РС / WBI/RS	5866,7±84,6/5585,5±169,4	4,02±0,08/4,03±0,08	3,10±0,03/3,11±0,07	20/20	РФ, Центральный / Russian Federation, Central	Курская область / Kursk Oblast	3	
ВБА/РС / WBI/RS	8184±85,17/7238±95,00	4,13±0,020/4,23±0,027	3,15±0,009/3,21±0,009	331/258			4	
ВБА/РС / WBI/RS	8354±1287/8246±1296	4,29±0,42/4,31±0,42	3,38±0,25/3,35±0,24	520/466		Московская область / Moscow Oblast	5	
ВБА/РС / WBI/RS	6574,8±324,63/6811,69±204,06	4,36±0,09/4,20±0,06	3,41±0,03/3,29±0,03*	15/36			6	
ВБА/РС / WBI/RS	7442/7061*	4,45/3,99*	3,37/3,12	-"/-			7	
ВБА/РС / WBI/RS	8390±154/8332±158	3,98±0,10/3,94±0,01	3,28±0,004/3,28±0,002	93/66		Орловская область / Orlov Oblast	8	
ВБА/РС / WBI/RS	9072,3/8358,2	3,95±0,02/3,96±0,02	3,28±0,004/3,28±0,003	20/20			9	
ВБА/РС / WBI/RS	8171±56/8172±59	3,93±0,02/3,84±0,02	3,34±0,01/3,30±0,01	425/351	10			
ВБА/РС / WBI/RS	8514±49/8621±64	3,81±0,02/3,81±0,02	3,23±0,01/3,24±0,01	425/351	РФ, Северо-Западный / Russian Federation, Northwestern	Вологодская область / Vologda Oblast	11	
	7140/7028	3,77/3,78	3,19/3,23	168/286				
ВБА/РС / WBI/RS	7064/7525	3,89/3,86	3,19/3,23	168/286			Рязанская область / Ryazan Oblast	12
ВБА/РС / WBI/RS	6274±24/6520±31	3,94±0,00/3,90±0,01	3,35±0,01/3,33±0,01	211/200			Ярославская область / Yaroslavl Oblast	13
ВБА/РС / WBI/RS	9911±234/9759±37	3,82±0,01/3,81±0,01	3,31±0,01/3,31±0,01	1922/1470	РФ, Северо-Западный / Russian Federation, Northwestern	Ленинградская область / Leningrad Oblast	14	
ВБА/РС / WBI/RS	8389,6±49/8274,3±47,5	3,87±0,01/3,84±0,01	3,31±0,01/3,31±0,01	3638/3811			15	
ВБА/РС / WBI/RS	10253,1±130,5/10046,4±98,1	3,64±0,02/3,54±0,02	3,40±0,02/3,37±0,02	102/263			16	
ВБА/РС / WBI/RS	7969,1±164,7/7741,2±126,6	3,79±0,03/3,96±0,03	3,15±0,01/3,15±0,02	69/71			17	
ВБА/РС / WBI/RS	8762,44±86,56/8615,00±173,29	4,04±0,02/4,01±0,03	3,22±0,01/3,27±0,02	218/51	РФ, Северо-Кавказский / Russian Federation, North Caucasian	Кабардино-Балкарская Республика / Kabardino-Balkarian Republic	18	
8262,38±52,08/8446,78±118,89	3,80±0,02/3,84±0,04	3,39±0,11/3,32±0,02	218/51	19				
ВБА/РС / WBI/RS	8627±195/8495±191	3,72±0,02/3,76±0,02	3,17±0,01/3,20±0,01*	50/42			Республика Марий Эл / Mari El Republic	20
ВБА/РС / WBI/RS	6737±20/6691±26	3,82±0,00/3,81±0,00	3,16±0,00/3,16±0,00	2695/1789			РФ, Приволжский / Russian Federation, Volga	Республика Марий Эл / Mari El Republic
ВБА/РС / WBI/RS	7260±21/7170±26*	3,81±0,00/3,82±0,002*	3,16±0,00/3,17±0,001	1839/1180				

Продолжение табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
ВБА/РС / WBI/RS	7086±65/6691±54	3,82±0,009/3,78±0,007	3,18±0,005/3,17±0,004	386/695	РФ, Приволжский / Russian Federation, Volga	Республика Татарстан / Republic of Tatarstan	21
ВБА/РС / WBI/RS	7353±162/7413±139	3,71±0,01/3,73±0,01	-	-		Нижегородская область / Nizhny Novgorod Oblast	22
ВБА/РС / WBI/RS	4874±76,7/5198±76,8	3,92±0,03/3,92±0,03	-	165/132		Самарская область / Samara Oblast	23
ВБА/РС / WBI/RS	5702±108/5444±123	4,03±0,019/3,90±0,024*	-	66/50		Ульяновская область / Ulyanovsk Oblast	24
ВБА/РС / WBI/RS	8528,5±234,10/8379,2±187,28	3,96±0,028/4,08±0,035	3,17±0,01/3,19±0,01	187/243		Удмуртская Республика / Udmurt Republic	25
ВБА/РС / WBI/RS	6160,8±75,32/6479,2±70,92	4,04±0,014/4,05±0,013	3,11±0,005/3,11±0,004	226/214	РФ, Уральский / Russian Federation, Ural	Тюменская область / Tyumen Oblast	26
ВБА/РС / WBI/RS	3887±486,5/4127±367,9	3,73±0,08/4,12±0,03	3,33±0,02/3,34±0,03	36/35		Свердловская область / Sverdlovsk Oblast	27
ВБА/РС / WBI/RS	5887±486,5/6127±367,9	3,73±0,08/4,12±0,03	-	36/35			28
ВБА/РС / WBI/RS	9854±352,12/10244±627,52	3,81±0,03/3,70±0,02	3,14±0,01/3,04±0,01	-			29
ВБА/РС / WBI/RS	6725/6240	3,98/4,07	-	15/15		Челябинская область / Chelyabinsk Oblast	30
ВБА/РС / WBI/RS	5858,5±14,8/6004,4±21,1	3,75±0,03/3,74±0,02	2,86±0,01/2,84±0,01	50/50	РФ, Сибирский / Russian Federation, Siberian	Красноярский край / Krasnoyarsk Krai	31
ВБА/РС / WBI/RS	4560,3±95,3/4583,3±110,6	3,73±0,026/3,71±0,033	3,05±0,023/3,03±0,016	-			32
ВБА/РС / WBI/RS	6578,60±207,11/6178,82±150,16	3,85±0,02/3,86±0,02	2,95±0,03/3,00±0,02	15/15			33
ВБА/РС / WBI/RS	6070±192/6732±195*	3,85±0,03*/3,74±0,02*	3,07±0,01/3,07±0,01	50/50		Кемеровская область / Kemerovo Oblast	34
ВБА/РС / WBI/RS	4960±99/5186±81	3,78±0,01/3,77±0,01	-	130/227		Новосибирская область / Novosibirsk Oblast	35
ВБА/РС / WBI/RS	7652±256,1/8340±190,3*	3,95±0,04/3,86±0,02	3,28±0,01/3,26±0,01	25/25	Республика Казахстан / Republic of Kazakhstan	Костанайская область / Kostanay Region	36
ВБА/РС / WBI/RS	5288±92/5632±165	3,7±0,04/3,6±0,08	2,9±0,03/2,8±0,06	30/30			37
ВБА/РС / WBI/RS	7751,78±548,59/7587,38±242,74	3,44±0,08/3,35±0,05	3,29±0,09/3,13±0,04	-			38

Примечания: ВБА – Вис Бэк Айдиал; РС – Рефлексин Соверинг; * авторы отмечают значимость различий по результатам проверки статистическими тестами.

Данные представлены как среднее±стандартная ошибка, реже среднее±стандартное отклонение.

Notes: WBI – Wis Burke Ideal; RS – Reflection Sovereign; * the authors note the significance of the differences, based on the results of verification by statistical tests.

The data are presented as the average±standard error, less often the average±standard deviation.

Для достижения поставленной цели были определены следующие *задачи*: анализ отечественных научных работ, посвященных взаимосвязи генеалогических линий с показателями продуктивности; оценка зависимости показателей продуктивности от генеалогических линий у молочного скота в Свердловской области; анализ чистоты исследуемых генеалогических линий быков-производителей.

Научная новизна – использование данных генотипирования ранее не применялось для восстановления сложных (вертикальных и горизонтальных) генеалогических связей внутри популяции молочного скота Свердловской области и оценки межлинейных скрещиваний.

Материал и методы. Данные по генотипам крупного рогатого скота взяты из закрытой базы генетических данных Уральского государственного аграрного университета, насчитывающей 41441 однонуклеотидный полиморфизм для 762 образцов маточного поголовья 2008–2022 гг. рождения из 6 сельскохозяйственных организаций Свердловской области. Информация об удое, массовой доле жира и белка за 305 дней первой лактации, кличке, инвентарном номере и генеалогической линии отца из базы данных СЕЛЭКС была запрошена в сельскохозяйственных организациях Свердловской области и предоставлена шестью из них. Генеалогические линии отцов были восстановлены с помощью ресурса <https://быки.рф/>¹.

Анализ данных проводили в среде программирования R. Для оценки достоверных различий показателей продуктивности в зависимости от линейной принадлежности, в первую очередь, проверяли нормальность распределения данных по тесту Шапиро-Уилка – функция `shapiro.test`. Достоверность различий между линиями оценивали с помощью непараметрического теста U-критерий Манна-Уитни в модификации Краскела-Уоллиса для сравнения более чем двух групп – `kruskal.test`.

Родственные связи между особями маточного поголовья восстанавливали по данным генотипирования с помощью программного обеспечения KING [39]. Визуализация сети родственных связей и выявление кластеров внутри сети (алгоритм предложен Blondel et al., 2008 [40]) проведены в программном обеспечении Gephi [41].

Результаты и их обсуждение. Всего для анализа было доступно 762 образца с полными данными по удою, массовой доле жира, белка и их линейной принадлежности из 6 сельскохозяйственных организаций. В первую очередь стоит отметить, что данные распределены ненормальным образом (рис. 1), проверка с помощью теста Шапиро-Уилка в общем по поголовью и внутри линейных групп показывает значимое отклонение от нормального распределения удоя, МДЖ и МДБ. Для определения достоверности различий между группами был использован U-критерий Манна-Уитни.

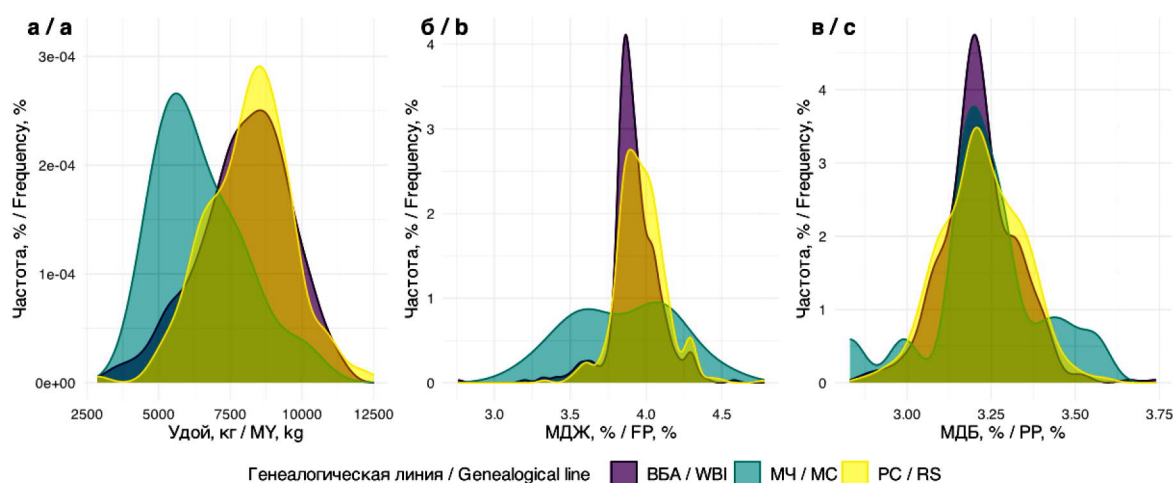


Рис. 1. Распределение показателей продуктивности за 305 дней первой лактации между линиями голштинского скота: ВСА – Вис Бэк Айдиал, РС – Рефлекшен Соверинг, МЧ – Монтвик Чифтейн; а – удой, б – массовая доля жира, в – массовая доля белка /

Fig. 1. Distribution of productivity indicators for 305 days of the first lactation between the Holstein lines: WBI – Wis Burke Ideal, RS – Reflection Sovereign and MC – Montvic Chieftain lines; а – yield, б – fat percentage, с – protein percentage

¹Быки России: каталог быков. [Электронный ресурс].

URL: <https://быки.рф/bulls/list> (дата обращения: 01.03.2025)

В выборку вошли особи с 2008 по 2022 год рождения и были проведены оценки зависимости продуктивности от линейной принадлежности как в общем, так и с разбиением на поколенческие группы: 2008–2011 гг., 2012–2014 гг., 2015–2017 гг., 2018–2020 гг. и 2021–2022 гг. (табл. 2). Из-за малого числа наблюдений в выборке из анализа были удалены особи линии Монтвик Чифтейн и достоверность различий оценивали между линейными группами Вис Бэк Айдиал и Рефлекшен Соверинг. В группе особей с 2008 по 2022 г. статисти-

чески значимые различия обнаружены для показателя МДЖ – 3,92 и 3,97 % ВБА и РС соответственно. При сравнении групп достоверные различия выявлены в поколениях 2018–2020 гг. по МДЖ и в поколениях 2015–2017 гг. и 2021–2022 гг. по удою, по обоим показателям преимущество имеет линия РС. Отсутствует преобладание одной линии над другой из поколения в поколение. Показатели удоя между линиями ВБА и РС в трёх поколенческих группах не различаются, а МДЖ незначимо преобладает то в одной линии, то в другой.

Таблица 2 – Показатели молочной продуктивности линий голштинского скота за 305 дней первой лактации /
Table 2 – Indicators of milk productivity of the Holstein lines for 305 days of the first lactation

Линия / Line	N	Удой, кг / Yield, kg $\bar{X} \pm sd$	МДЖ, % / FP, % $\bar{X} \pm sd$	МДБ, % / PP, % $\bar{X} \pm sd$
2008–2022 гг.				
ВБА / WBI	383	7992,8±1602,45	3,92±0,172***	3,22±0,114
РС / RS	364	8151,8±1476,88	3,97±0,164***	3,22±0,120
МЧ / MC	15	6443,1±1510,28	3,84±0,346	3,23±0,177
2008–2011 гг.				
ВБА / WBI	25	5577,7±1507,99	3,88±0,295	3,08±0,157
РС / RS	14	5600,3±1520,76	4,02±0,168	3,03±0,096
МЧ / MC	4	6285±1883,31	3,61±0,119	3,08±0,203
2012–2014 гг.				
ВБА / WBI	61	6974,8±1752,90	3,96±0,302	3,19±0,117
РС / RS	74	7283,2±1427,12	4,05±0,241	3,18±0,113
МЧ / MC	9	6098,2±969,05	3,91±0,398	3,31±0,140
2015–2017 гг.				
ВБА / WBI	20	8028,2±1098,11*	3,98±0,101	3,20±0,138
РС / RS	32	8975,7±1405,68*	3,96±0,110	3,21±0,089
МЧ / MC	1	9989	4,16	3,17
2018–2020 гг.				
ВБА / WBI	271	8471,3±1269,85	3,91±0,110***	3,23±0,095
РС / RS	209	8573,5±1208,36	3,95±0,111***	3,23±0,107
МЧ / MC	1	6634	3,85	3,18
2021–2022 гг.				
ВБА / WBI	6	6674±658,79*	3,96±0,158	3,39±0,075
РС / RS	35	7737,8±1031,83*	3,90±0,198	3,34±0,104
МЧ / MC	0	-	-	-

* Показаны достоверные различия между линиями при $p < 0,05$; ***– $p < 0,001$; ВБА – Вис Бэк Айдиал, МЧ – Монтвик Чифтейн, РС – Рефлекшен Соверинг /

* Significant differences between the lines are shown $p < 0,05$; ***– $p < 0,001$; WBI is Wis Burke Ideal, MC is Montvic Chieftain, RS is Reflection Sovereign.

Чистотой линейности быков-производителей на сегодняшний день также вызывает сомнения. Бык и корова относятся к линии отца, даже в том случае, если их мать принадлежит другой линии. За время, прошедшее с момента рождения основателей линий, прошло более 80 лет, за этот период происходило множество скрещиваний особей разных линий между собой.

В наших данных всего было выявлено 136 отцов; восстановить линейную принадлежность предков до 4-го колена удалось для 102 особей. У 41 быка-производителя отец и мать принадлежат общей линии и лишь у 1 быка – предки предков находятся внутри общей линии. Чистотой линейности быков утрачивается к третьему поколению.

Использование генетических данных позволило восстановить сложную генеалогическую структуру, включающую вертикальные и горизонтальные связи, внутри исследованной группы животных (рис. 2). С помощью программного обеспечения KING выявлено 20344 генеалогические связи: 25 – Родитель-Потомок; 857 – первой степени родства, включающей сибсов; 19462 – второй степени родства, в которую входят полусибсы, бабушки-внуки. Всего

в сети было определено 11948 внутрилинейных и 8396 межлинейных связей, на уровне Родитель-Потомок внутрилинейных связей – 11 (3 ВБА-ВБА и 8 РС-РС), межлинейных связей – 14 ВБА-РС. Более 40 % родственных связей объединяют друг с другом особей разных линий (рис. 3). Число связей между группами ВБА и РС чуть больше, чем внутри группы ВБА и почти в два раза больше, чем внутри РС.

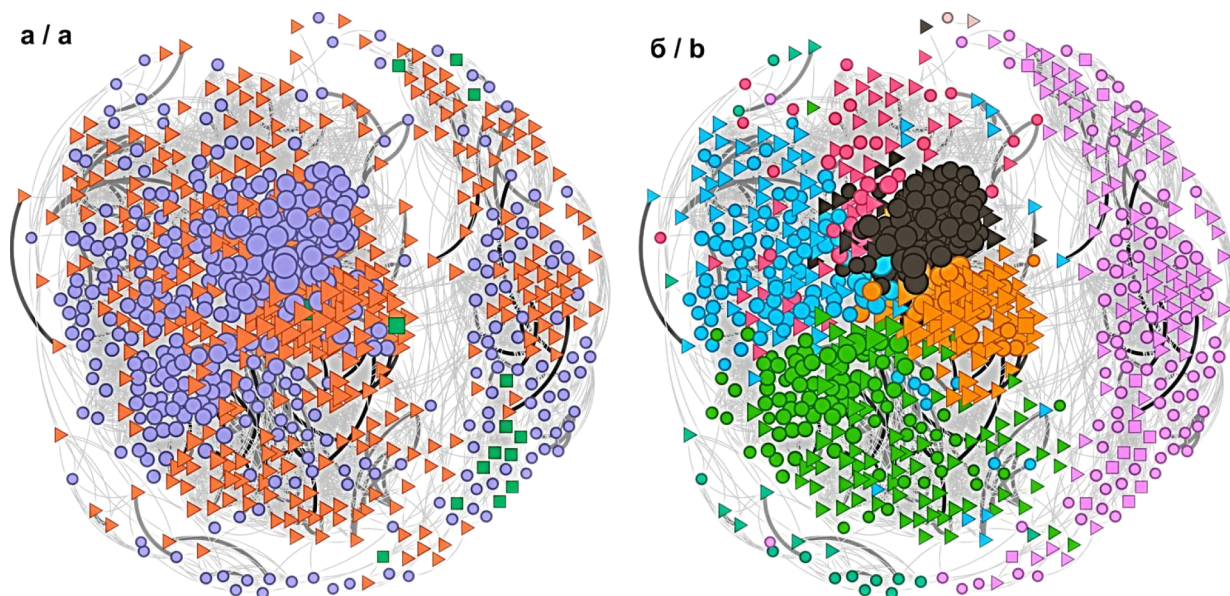


Рис. 2. Сеть, отображающая родственные связи между исследованными особями маточного поголовья крупного рогатого скота Свердловской области. Каждая точка обозначает особь, форма – принадлежность линии: круг – линия Вис Бэк Айдиал; треугольник – Рефлекшен Соверинг; квадрат – Монтвик Чифтейн. Родственные связи между особями обозначены кривыми линиями, цвет и толщина линии показывает степень родства: темно-серые толстые – Родитель-Потомок; серые – Первая степень; тонкие светло-серые – Вторая степень; а – цвет точки соответствует генеалогической линии: сиреневый – Вис Бэк Айдиал; оранжевый – Рефлекшен Соверинг; зеленый – Монтвик Чифтейн; б – цвета точек соответствуют выявленному сообществу /

Fig. 2. Network showing the kinship relationships between the studied individuals of the cattle breeding stock of the Sverdlovsk region. Each dot denotes an individual, and the shape is a line belonging to it: a circle is a Wis Burke Ideal; a triangle is a Reflection Sovereign; a square is a Montvic Chieftain. The relationships between individuals are indicated by curved lines, the color of the line and the thickness show the degree of kinship: dark gray thick lines – Parent-Offspring; gray lines – First relationship degree; thin light gray – Second relationship degree; а – the color of the dot corresponds to the genealogical line: lilac is the line of the Wis Burke Ideal; orange is Reflection Sovereign; green is Montvic Chieftain; б – the colors of the dots correspond to the identified community /

Оценка модулярности показала наличие внутри сети 8 сообществ (рис. 2, б), а само значение модулярности для исследуемой сети равно 0,466. Большинство биологических, социальных и технологических сетей имеют модулярность в диапазоне 0,3–0,7, а значения, близкие к 0,5, указывают на сильно выраженную модульную структуру [42, 43, 44]. В контексте рассматриваемого маточного поголовья сообщества могут соответствовать отдельным близкородственным группам. При этом группы

напрямую не соответствуют отдельным хозяйствам, а напротив, внутри одного сообщества могут встречаться особи из разных хозяйств и, наоборот, в одном хозяйстве может встречаться несколько сообществ (табл. 3).

В выявленных сообществах число потомков линий ВБА и РС находится в соотношении 1:1, но значимо от равного разделения по линиям отличаются только два с преобладанием особей одной или другой линии, оценка значимости различий проведена методом хи-квадрат (табл. 4).

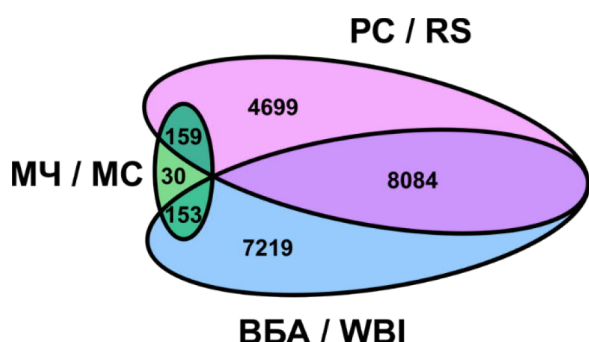


Рис. 3. Диаграмма Венна с числом связей в сети внутри и между генеалогическими линиями голштинского скота: ВБА – Вис Бэк Айдиал; МЧ – Монтвик Чифтейн; РС – Рефлекшен Соверинг /

Fig. 3. Venn diagram with the number of relationships in the network within and between Holstein genealogical lines: WBI is Wis Burke Ideal; MC is Montvic Chieftain; RS is Reflection Sovereign

Таблица 3 – Число особей в выявленных сообществах крупного рогатого скота, принадлежащих различным хозяйственным организациям /

Table 3 – The number of individuals in the identified communities of dairy cattle belonging to different farms

Сообщество / Community	Хозяйство / Farm					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	0	2	0	0
2	1	1	2	18	0	0
3	45	28	32	23	46	0
4	0	50	0	0	80	35
5	0	72	0	0	13	2
6	0	101	0	0	0	5
7	0	62	0	0	1	0
8	0	136	0	0	6	1

Таблица 4 – Число особей различных генеалогических линий голштинского скота в выявленных сообществах /

Table 4 – The number of individuals of different Holstein genealogical lines in the identified communities

Сообщество / Community	Линия / Line		
	ВБА / WBI	МЧ / MC	РС / RS
1	1	0	1
2	12	0	10
3	80	13	81
4	85	0	80
5*	23	2	62
6*	73	0	33
7	28	0	35
8	81	0	62

* Показаны достоверные различия между наблюдаемыми и ожидаемым распределением представителей линий внутри сообществ при $p < 0,05$ /

* Significant differences between the observed and expected distribution of line representatives within communities are demonstrated at $p < 0.05$

Мы также провели расчёт генетической дифференциации (F_{ST}) между группами особей, принадлежащих разным линиям и разным сообществам (рис. 4). Генетических различий между маточным поголовьем линий Вис Бэк Айдиал и Рефлекшен Соверинг не выявлено, а различия с особями линии Монтвик Чифтейн легко объяснить малым размером последней группы. Генетическая дифференциация между особями разных выявленных сообществ для некоторых сравниваемых пар значительно

выше, чем между линиями. Высокие значения F_{ST} для сообществ 1 и 2 можно объяснить малым размером в первом случае и преимущественно возрастными особями во втором (табл. 5).

В сообществах с 4-го по 8-ой, которые более всего сбалансированы по числу образцов вообще и с разбиением по поколениям в частности, наименьшее значение F_{ST} , равное 0,02, отмечено для пар 4–7, 4–8 и 7–8, а наибольшее 0,07 – для пары 5–6.

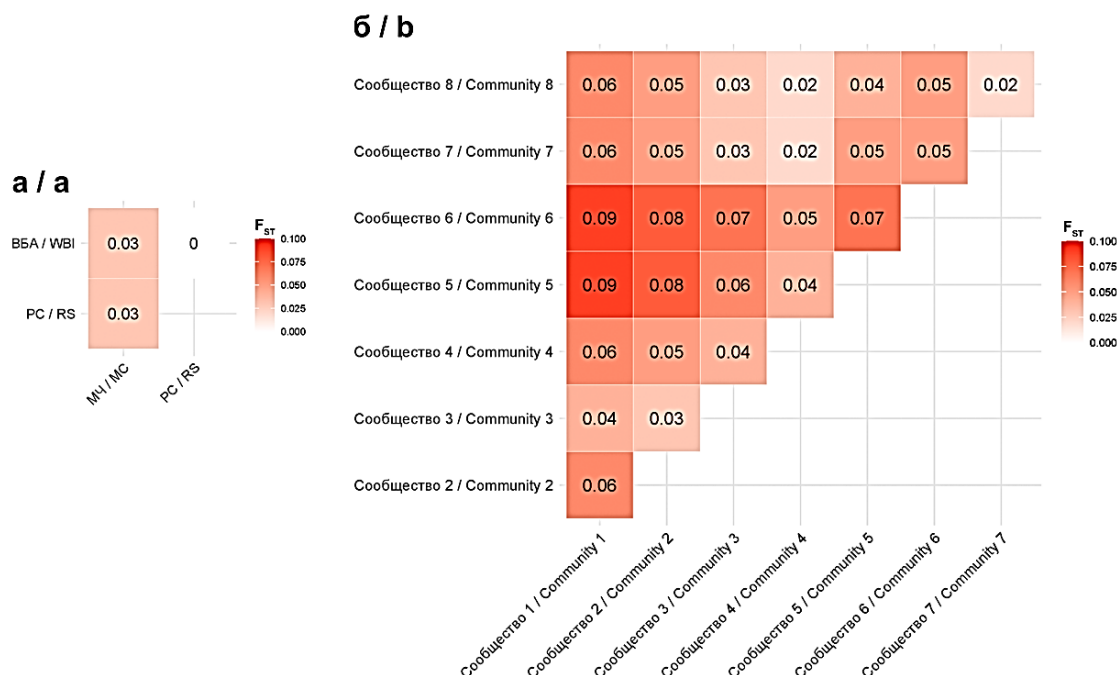


Рис. 4. Результат оценки генетической дифференциации (F_{ST}): а – для групп маточного поголовья крупного рогатого скота в зависимости от линейной принадлежности; б – в зависимости от выявленных сообществ /

Fig. 4. The result of the F_{ST} assessment: а – for groups of cattle breeding stock, depending on the linear affiliation; б – depending on the identified communities

Таблица 5 – Число особей в выявленных сообществах, принадлежащих различным поколениям маточного поголовья крупного рогатого скота /
Table 5 – Number of individuals in identified communities belonging to different generations of cattle breeding stock

Сообщество / Community	Поколенческая группа / Generational group				
	2007–2011 гг.	2012–2014 гг.	2015–2017 гг.	2018–2020 гг.	2021–2022 гг.
1	0	2	0	0	0
2	0	21	1	0	0
3	43	120	11	0	0
4	0	0	24	106	35
5	0	0	2	80	5
6	0	1	3	102	0
7	0	0	2	61	0
8	0	0	10	132	1

Заклучение. В результате анализа научных источников установлено, что наиболее распространённые генеалогические линии голштинского скота Вис Бэк Айдиал и Рефлекшен Соверинг преобладают одна над другой с равной вероятностью, а достоверность различий в показателях продуктивности дойных коров подтверждена статистическими тестами в 8 из 38 работ. Во многих работах не объясняются причины использования параметри-

ческого t-теста Стьюдента, в то время как данный тест обладает наибольшей мощностью при оценке данных, распределённых в соответствии с нормальным законом; в противном случае его применение может привести к некорректным выводам.

В наших данных показатели продуктивности распределены ненормальным образом, следовательно, для сравнения линий между собой был использован непараметрический

U-критерий Манна-Уитни. Достоверную разницу получили для показателей удою в двух поколенческих группах, массовой доли жира в одной поколенческой группе и в общем по поголовью. В то же время разница между линиями отсутствовала по удою в трёх из пяти и по МДЖ в четырёх из пяти поколений маточного поголовья.

Чистота генеалогических линий отсутствует уже к третьему поколению предков. В исследованном поголовье у 41 быка Отец и Мать принадлежали общей линии, и только у одного быка предки предков были внутри общей линии. В группе быков-производителей выявлено активное межлинейное скрещивание,

что неизбежно ведёт к размыванию различий между линиями.

Данные генотипирования возможно использовать для восстановления родственных генеалогических связей. В сети родственных отношений возможно выделение сообществ, которые не в полной мере согласуются с линейной принадлежностью. Оценка F_{ST} демонстрирует, что между особями линий ВСА и РС генетические различия отсутствуют; высокие показатели F_{ST} между сообществами, полученными в ходе оценки модулярности сети родственных связей поголовья, могут свидетельствовать в пользу существования в популяции отдельных близкородственных групп.

Список литературы

1. Ранделин А. В., Кайдулина А. А., Бармина Т. Н., Суркова С. А. Молочная продуктивность коров датской селекции разной линейной принадлежности. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2018;2(50):241–244. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36600009> EDN: YQTCFF
2. Коханов М. А., Злепкин В. А., Коханов А. П., Фролова Н. М., Воронцова Е. С., Фролов Р. В., Коробкин Т. А. Использование внутрилинейного подбора в стадах голштинского скота. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2023;(3):267–275. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-03-27> EDN: FYDQIC
3. Самбуров Н. В., Астахова Н. И., Лебедько Е. Я. Сравнительная характеристика голштинских коров разной линейной принадлежности. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(4):111–114. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35017271> EDN: XPAROX
4. Усова Т. П., Чесноков Д. В. Молочная продуктивность коров в зависимости от линейной принадлежности. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021;(2):101–105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46151213> EDN: NKKUTZ
5. Зибров А. М., Кривикова А. Н., Лепёхина Т. В. Молочная продуктивность и физико-химический состав молока у коров голштинской породы разных линий за ряд лактаций. Международный научно-исследовательский журнал. 2022;(6-5(120)):58–62. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.103> EDN: DUGSVW
6. Черемуха Е. Г., Вахрамова О. Г., Бузина О. В. Влияние линейной принадлежности на долголетие и молочную продуктивность коров. Вестник КрасГАУ. 2022;(10):109–116. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-109-116> EDN: YBTCZI
7. Мкртчян Г. В., Богданова Т. В., Бакай Ф. Р. Использование голштинской породы для улучшения популяции черно-пестрого скота в Московской области. Международный научно-исследовательский журнал. 2021;(11-1(113)):148–154. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.028> EDN: FNIQDU
8. Харитонова А. С. Продуктивные особенности коров разных линий. Вестник аграрной науки. 2020;(5):177–182. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.5.177> EDN: NCILVZ
9. Харитонова А. С. Продуктивные и воспроизводительные особенности коров разных линий. Вестник аграрной науки. 2022;(3):177–183. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.3.177> EDN: WFZCAT
10. Шендаков А. И. Генеалогическая структура и продуктивность стада голштинского скота в ЗАО «Славянское» Орловской области. Вестник аграрной науки. 2023;(1):49–55. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.1.49> EDN: IVGNRH
11. Шендаков А. И. Голштинские линии в селекции чёрно-пёстрой породы молочного скота. Биология в сельском хозяйстве. 2021;(3):6–9. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46592400> EDN: DOFBRJ
12. Федосеева Н. А., Усов В. П., Шепинев Д. А. Сравнительная характеристика линий голштинского происхождения коров черно-пестрой породы по молочной продуктивности. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2020;(1):151–155. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42652512> EDN: XIFMTB
13. Фураева Н. С., Зверева Е. А., Воробьёва С. С., Финогеев В. П., Подгорнова Н. Г. Влияние генетических факторов на молочную продуктивность и воспроизводительные качества коров голштинской породы в ООО «Красный маяк». Вестник АПК Верхневолжья. 2023;(4(64)):74–83. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.64.4.010> EDN: CZRPGV
14. Хромова О. Л., Абрамова Н. И., Селимян М. О., Зенкова Н. В. Перспективные генеалогические ветви в основных линиях популяции голштинизированного черно-пестрого скота Вологодской области. Молочнохозяйственный вестник. 2024;(2):98–112. DOI: https://doi.org/10.52231/2225-4269_2024_2_98 EDN: BJQFQV

15. Путинцева С. В., Сафронов С. Л. Сравнительный анализ молочной продуктивности коров-первотелок голштинской породы разного происхождения. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2023;(2):87–94. DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-2-87-94> EDN: BWYXRN
16. Беляева К. А., Берелет Т. Ю., Лескинен Л. М. Молочная продуктивность коров-первотелок разных линий. Мат-лы 77-й междунаrodn. научн. конф. молодых ученых и студентов СПбГУВМ, посвящ. 80-летию прорыва блокады Ленинграда. СПб: Санкт-Петербургский ГУВМ, 2023. С. 19–21. DOI: <https://doi.org/10.52419/3006-2023-3>
17. Гриценко С. А., Хакназаров А. А., Ребезов М. Б. Продуктивные качества коров голштинской породы различных поколений, возраста в лактациях и линейной принадлежности. Аграрная наука. 2023;(3):74–79. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-74-79> EDN: ZVEMSL
18. Абдулхаликов Р. З., Тарчоков Т. Т., Айсанов З. М., Тлейншева М. Г., Хасанова З. С. Продуктивные особенности голштинских коров при внутрилинейном подборе, и реципрокном кроссе линий. Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова. 2022;3(37):45–57. DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-3-37-45-57> EDN: VDIQEU
19. Титова С. В., Забиякин В. А. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров черно-пестрой породы разной линейной принадлежности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):434–442. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442> EDN: DRBPX
20. Титова С. В. Сравнительная оценка коров разной линейной принадлежности по их продуктивности и воспроизводительным качествам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(5):889–898. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889-898> EDN: UOFDFU
21. Шайдуллин Р. Р., Харисова Ч. А., Ахметов Т. М., Тенлибаева А. С. Молочная продуктивность коров, происходящих из перспективных ветвей голштинской породы. Агробιοтехнологии и цифровое земледелие. 2023;(2):52–56. DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-52-56> EDN: ZJRYJS
22. Катков А. В., Сафронов С. Л., Басонов О. А. Сравнительная характеристика продуктивных качеств коров черно-пестрой породы разных регионов России. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2017;(47):85–91. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29757895> EDN: ZBEZOF
23. Грашин В. А., Грашин А. А. Совершенствование племенных и продуктивных качеств животных Самарского типа чёрно-пёстрой породы. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2012;(2(34)):106–109. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17738142> EDN: NLJASB
24. Малышев И. А., Катмаков П. С., Бушов А. В. Продуктивные качества потомков быков-производителей разных линий. Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(1(61)):135–142. DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-135-142> EDN: QHLMAY
25. Любимов А. И., Мартынова Е. Н., Ачкасова Е. В., Азимова Г. В., Ястребова Е. А. Молочная продуктивность коров разных ветвей основных линий голштинской породы. Пермский аграрный вестник. 2021;2(34):69–76. DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_34_69 EDN: BCSSIA
26. Никифорова А. О. Влияние линейной принадлежности коров на долголетие и продуктивные способности. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2024;(4(80)):133–141. DOI: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_4_133-141 EDN: ZLWHKW
27. Лоретц О. Г., Горелик О. В. Влияние генотипа на молочную продуктивность. Аграрный вестник Урала. 2015;(10(140)):29–34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24852852> EDN: UXWFTF
28. Горелик О. В., Федосеева Н. А., Кныш И. В. Молочная продуктивность коров голштинских линий черно-пестрого скота. Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2019;(56):99–105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41172129> EDN: AEPFHW
29. Файзуллин П. В., Горелик О. В. Молочная продуктивность коров чёрно-пёстрой породы в зависимости от линейной принадлежности. Биология в сельском хозяйстве. 2021;(4(33)):13–16. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47327050> EDN: HQGHQR
30. Лоретц О. Г., Ражина Е. В., Смирнова Е. С. Продуктивные особенности коров голштинской породы разных генетических линий. Аграрный вестник Урала. 2024;24(6):779–791. DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-779-791> EDN: IPSKIO
31. Вильвер Д. С. Взаимосвязь хозяйственно-полезных признаков коров различных генотипов. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(4):41–43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374011> EDN: TRMVKF
32. Овчинникова Л. Ю., Нохрин П. С., Нохрина К. К. Влияние происхождения на интенсивность раздоя и молочную продуктивность коров. Вестник биотехнологии. 2023;(2(33)):5. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vuvmps> EDN: VUVMPs
33. Ефимова Л. В., Кулакова Т. В., Иванова О. В., Иванов Е. А. Взаимосвязь между признаками линейной оценки экстерьера и молочной продуктивностью коров. Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2017;(3):115–124. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053310> EDN: ZHRBPJ
34. Лефлер Т. Ф., Садыко С. Г. Сравнительная оценка молочной продуктивности коров разных линий. Вестник КрасГАУ. 2019;(5):138–142. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39263575> EDN: HPKEAY
35. Химич Н. Г., Нестеренко Н. Н., Кочнева М. Л. Продуктивность коров приобского типа черно-пестрой породы в зависимости от линейной принадлежности. Достижения науки и техники АПК. 2012;(3):46–48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17667413> EDN: OWQAGV

36. Лоскутникова В. В. Молочная продуктивность и воспроизводительные качества коров разных лактаций в зависимости от линейной принадлежности. Вестник молодежной науки Алтайского государственного аграрного университета. 2021;(1):135–138. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46467232> EDN: SMVLOG
37. Яковчик Н. С., Досумова А. Ж., Кубекова Б. Ж. Основы селекции коров голштинской породы разных генотипов. Агропанорама. 2021;(3):14–16. DOI: <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2021-145-3-14-16> EDN: UOBIUQ
38. Mussayeva G. K., Meldebekov A. M., Meldebekova N. A., Shaykamal G. I., Buralkhiyev B. A., Rametov N. M., Zhumanov K. Dairy productivity of Holstein cows of different genetic lines in the conditions of Kostanay region of Kazakhstan. Pakistan Journal of Zoology. 2023;55(3):1257–1265.
DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20210818080851>
39. Manichaikul A., Mychaleckyj J. C., Rich S. S., Daly K., Sale M., Chen W. M. Robust relationship inference in genome-wide association studies. Bioinformatics. 2010;26(22):2867–2873.
DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq559>
40. Blondel V. D., Guillaume J. L., Lambiotte R., Lefebvre E. Fast unfolding of communities in large networks. Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment. 2008;(10):P1000.
DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
41. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media. 2009;3(1):361–362.
DOI: <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
42. Newman M. E. Modularity and community structure in networks. PNAS. 2006;103(23):8577–8582.
DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
43. Lancichinetti A., Fortunato S. Community detection algorithms: a comparative analysis. Physical Review E. 2009;80(2):056117. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.80.056117>
44. Fortunato S. Community detection in graphs. Physics Reports. 2010;486(3-5):75–174.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>

References

1. Randelin A. V., Kaydulina A. A., Barmina T. N., Surkova S. A. Milk productivity of danish cows selections of different linear belonging. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2018;2(50):241–244. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36600009>
2. Kokhanov M. A., Zlepkin V. A., Kokhanov A. P., Frolova N. M., Vorontsova E. S., Frolov R. V., Korobkin T. A. The use of in-line selection in herds of holstein cattle. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2023;(3):267–275. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-03-27>
3. Samburov N. V., Astakhova N. I., Lebedko E. Ya. Comparative characteristics of the holstein cows different linear accessories. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2018;(4):111–114. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35017271>
4. Usova T. P., Chesnokov D. V. Productivity of cows depending on linear accessories. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(2):101–105. (In Russ.).
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46151213>
5. Zibrov A. M., Krovikova A. N., Lepekhina T. V. Lactation performance and physico-chemical composition of milk in cows of holstein breed of different breed lines for a number of lactations. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2022;(6-5(120)):58–62. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2022.120.6.103>
6. Cheremukha E. G., Vakhramova O. G., Buzina O. V. Linear affiliation influence on longevity and dairy productivity of cows. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2022;(10):109–116. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2022-10-109-116>
7. Mkrtchyan G. V., Bogdanova T. V., Bakay F. R. The use of the holstein breed to improve the population of the black pied cattle in Moscow oblast. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2021;(11-1(113)):148–154. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2021.113.11.028>
8. Kharitonova A. S. Productive features of cows of different lines. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2020;(5):177–182. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.5.177>
9. Kharitonova A. S. Productive and reproductive features of cows of different lines. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2022;(3):177–183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2022.3.177>
10. Shendakov A. I. Genealogical structure and herd productivity of holstein cattle in CJSC "Slavyanskoe" of the Orel region. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of Agrarian Science. 2023;(1):49–55. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.1.49>
11. Shendakov A. I. Holstein lines in the selection of black-and-white dairy cattle. *Biologiya v sel'skom khozyaystve* = Biology in agriculture. 2021;(3):6–9. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46592400>
12. Fedoseeva N. A., Usov V. P., Shepinev D. A. Comparative characteristics of lines of holstein origin of black-and-white cows by milk productivity. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2020;(1):151–155. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42652512>
13. Furaeva N. S., Zvereva E. A., Vorob'eva S. S., Finogeev V. P., Podgornova N. G. The influence of genetic factors on milk producing ability and reproductive qualities of holstein cows in OOO "Krasny mayak". *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2023;(4(64)):74–83. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2023.64.4.010>

14. Khromova O. L., Abramova N. I., Selimyan M. O., Zenkova N. V. Promising genealogical branches in the main lines of the holsteinized black-and-white cattle population in the Vologda region. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2024;(2):98–112. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52231/2225-4269_2024_2_98
15. Putintseva S. V., Safronov S. L. Comparative analysis of milk productivity of holstein heifers of different origins. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2023;(2):87–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-2-87-94>
16. Belyaeva K. A., Berelet T. Yu., Leskinen L. M. Milk productivity of first-calf heifers of different lines. Proceedings of the 77th International Scientific Conference of Young Scientists and Students of SPbSUVU dedicated to the 80th anniversary of the breakthrough of the Siege of Leningrad. Saint Petersburg: *Sankt-Peterburgskiy GUVU*, 2023. pp. 19–21. DOI: <https://doi.org/10.52419/3006-2023-3>
17. Gritsenko S. A., Khaknazarov A. A., Rebezov M. B. Productive qualities of Holstein cows of different generations, age in lactations and linear affiliation. *Agrarnaya nauka* = *Agrarian science*. 2023;(3):74–79. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-368-3-74-79>
18. Abdulkhalikov R. Z., Tarchokov T. T., Aysanov Z. M., Tleynsheva M. G., Khasanova Z. S. Productive features of holstein cows with intra-linear selection and reciprocal cross of lines. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova*. 2022;3(37):45–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-3-37-45-57>
19. Titova S. V., Zabiyaikin V. A. Milk productivity and reproductive abilities of black-and-white cows of different lines. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(4):434–442. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.434-442>
20. Titova S. V. Comparative evaluation of cows of different lineages according to their productivity and reproductive qualities. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(5):889–898. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.889-898>
21. Shaydullin R. R., Kharisova Ch. A., Akhmetov T. M., Tenlibaeva A. S. Dairy productivity of cows originating from perspective branches of the holsteinian breed. *Agrobiotekhnologii i tsifrovoye zemledelie*. 2023;(2):52–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2782-490X-2023-52-56>
22. Katkov A. V., Safronov S. L., Basonov O. A. Comparative characteristics of productive qualities of black-and-white cows from different regions of Russia. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2017;(47):85–91. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29757895>
23. Grashin V. A., Grashin A. A. Improvement of pedigree and productive properties of Samara type black-spotted cattle in the process of their breeding. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Orenburg State Agrarian University*. 2012;(2(34)):106–109. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17738142>
24. Malyshev I. A., Katmakov P. S., Bushov A. V. Productive qualities of descendants of servicing bulls of different lines. *Vestnik Ul'yanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2023;(1(61)):135–142. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-1-135-142>
25. Lyubimov A. I., Martynova E. N., Achkasova E. V., Azimova G. V., Yastrebova E. A. Dairy productivity of cows of different branches of the main lines of the holstein breed. *Permskiy agrarnyy vestnik* = *Perm Agrarian Journal*. 2021;2(34):69–76. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.47737/2307-2873_2021_34_69
26. Nikiforova A. O. Influence of the lineage of cows on longevity and productive abilities. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2024;(4(80)):133–141. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2024_4_133-141
27. Loretts O. G., Gorelik O. V. Influence of the genotype on lactic efficiency. *Agrarnyy vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2015;(10(140)):29–34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24852852>
28. Gorelik O. V., Fedoseeva N. A., Knysh I. V. Dairy productivity of cows of Holstein lines of black-and-white cattle. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019;(56):99–105. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41172129>
29. Fayzullin P. V., Gorelik O. V. Milk productivity of black-and-white cows depending on the linear affiliation. *Biologiya v sel'skom khozyaystve* = *Biology in agriculture*. 2021;(4(33)):13–16. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=47327050>
30. Loretts O. G., Razhina E. V., Smirnova E. S. Productive features of holstein cows of different genetic lines. *Agrarnyy vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2024;24(6):779–791. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2024-24-06-779-791>
31. Vilver D. S. Interrelation of economic traits of cows with different genotypes. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2015;29(4):41–43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23374011>
32. Ovchinnikova L. Yu., Nokhrin P. S., Nokhrina K. K. Effect of origin on the intensity of stripping and milk productivity of cows. *Vestnik biotekhnologii* = *Bulletin of biotechnology*. 2023;(2(33)):5. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=vuvmps>
33. Efimova L. V., Kulakova T. V., Ivanova O. V., Ivanov E. A. Relation between linear assessment of exterior and cows' milk productivity. *Vestnik NGAU (Novosibirskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet)* = *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2017;(3):115–124. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30053310>

34. Lefler T. F., Sadyko S. G. Comparative assessment of dairy efficiency of cows of different lines. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2019;(5):138–142. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39263575>
35. Khimich N. G., Nesterenko N. N., Kochneva M. L. Productivity of priobsky type of black-and-white cattle of different lines. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(3):46–48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17667413>
36. Loskutnikova V. V. Milk production and reproductive qualities of cows of different lactations depending on the linear affiliation. *Vestnik molodezhnoy nauki Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(1):135–138. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46467232>
37. Yakovchik N. S., Dosumova A. Zh., Kubekova B. Zh. Basics of breeding of Holstein cows of different genotypes. *Agropanorama*. 2021;(3):14–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.56619/2078-7138-2021-145-3-14-16>
38. Mussayeva G. K., Meldebekov A. M., Meldebekova N. A., Shaykamal G. I., Buralkhiyev B. A., Rametov N. M., Zhumanov K. Dairy productivity of Holstein cows of different genetic lines in the conditions of Kostanay region of Kazakhstan. *Pakistan Journal of Zoology*. 2023;55(3):1257–1265. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.pjz/20210818080851>
39. Manichaikul A., Mychaleckyj J. C., Rich S. S., Daly K., Sale M., Chen W. M. Robust relationship inference in genome-wide association studies. *Bioinformatics*. 2010;26(22):2867–2873. DOI: <https://doi.org/10.1093/bioinformatics/btq559>
40. Blondel V. D., Guillaume J. L., Lambiotte R., Lefebvre E. Fast unfolding of communities in large networks. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*. 2008;(10):P1000. DOI: <https://doi.org/10.1088/1742-5468/2008/10/P10008>
41. Bastian M., Heymann S., Jacomy M. Gephi: an open source software for exploring and manipulating networks. *Third International AAAI Conference on Weblogs and Social Media*. 2009;3(1):361–362. DOI: <https://doi.org/10.1609/icwsm.v3i1.13937>
42. Newman M. E. Modularity and community structure in networks. *PNAS*. 2006;103(23):8577–8582. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.0601602103>
43. Lancichinetti A., Fortunato S. Community detection algorithms: a comparative analysis. *Physical Review E*. 2009;80(2):056117. DOI: <https://doi.org/10.1103/PhysRevE.80.056117>
44. Fortunato S. Community detection in graphs. *Physics Reports*. 2010;486(3-5):75–174. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.physrep.2009.11.002>

Сведения об авторах

✉ **Лиходеевский Георгий Александрович**, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Богатова Полина Сергеевна, аспирант, младший научный сотрудник лаборатории молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Лиходеевская Оксана Евгеньевна, кандидат биол. наук, доцент, зав. лабораторией молекулярных и биологических исследований, ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», ул. Карла Либкнехта, д. 42, г. Екатеринбург, Российская Федерация, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

Information about the authors

✉ **Georgiy A. Lihodeevskiy**, postgraduate, junior researcher, The Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2616-2166>, e-mail: georglihodey@gmail.com

Polina S. Bogatova, postgraduate, junior researcher, The Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6584-2394>

Oksana E. Lihodeevskaya, PhD in Biological Science, associate professor, Head of the Laboratory of Molecular and Biological Research, Ural State Agricultural University, Karl Liebknecht Street, 42, Yekaterinburg, Russian Federation, 620075, e-mail: rector@urgau.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5976-6030>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Выявление генов, ассоциированных с технологическими свойствами молока коров, с помощью GWA-анализа и генной онтологии

© 2025. М. В. Левченко¹✉, Г. Г. Карликова¹, Г. К. Петрякова¹, И. А. Лашнева¹, А. А. Сермягин²

¹ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация,

²Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

В последние годы наблюдается значительное развитие технологий в области генетики и селекции крупного рогатого скота, что открывает новые возможности для повышения продуктивности и качества молочной продукции. Настоящая работа посвящена исследованию генетической детерминации технологических свойств молока коров – термостабильности и сычужной свертываемости. Цель исследования – проведение полногеномного анализа ассоциаций (GWA-анализ) для выявления позиционных генов-кандидатов, детерминирующих формирование технологических показателей молока коров, с последующей функциональной аннотацией для глубокого понимания механизмов действия генов и их вклада в формирование фенотипа. В результате GWA-анализа было идентифицировано 17 SNP, достоверно связанных с термостабильностью молока и расположенных на хромосомах BTA3, BTA6, BTA8, BTA23, BTA24, BTA27, BTA28 и BTA29. Также было выявлено 34 SNP, ассоциированных с сычужной свертываемостью молока, локализованных на хромосомах BTA1, BTA2, BTA3, BTA5, BTA6, BTA9, BTA10, BTA12, BTA14, BTA15, BTA16, BTA18, BTA20, BTA23, BTA24, BTA26 и BTA27. Функциональная аннотация выявила 144 гена, сгруппированных в 43 узла и 9 кластеров. Среди всех девяти кластеров в четырех из них были задействованы гены, ответственные за термостабильность (CNOT7) и сычужную свертываемость молока (HHAT, NEDD9, ZNF423). Функциональная аннотация 11 выявленных генов-кандидатов (HHAT, PDE3B, AK8, AK2, CNOT7, XRN2, NOP14, NEDD9, SMAD3, ZNF423, EBF1) с использованием базы данных DAVID позволила установить их вовлеченность в такие биологические процессы, как пальмитоилирование белка, регуляция клеточной активности, биосинтез нуклеотидов и регуляция трансляции. Выявлены ассоциации между отдельными генами (HHAT, AK8, EBF1) и QTL, влияющими на молочную продуктивность и качественный состав молока. Результаты исследования вносят вклад в понимание генетической архитектуры технологических свойств молока и могут быть использованы в геномной селекции для улучшения качества молочной продукции.

Ключевые слова: молочное скотоводство, голштинская порода, полногеномный анализ ассоциаций, функциональная аннотация генов, SNP-маркеры, термостабильность молока, сычужная свертываемость молока

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста» (№ FGGN-2024-0013, рег. № 124020200029-4).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Левченко М. В., Карликова Г. Г., Петрякова Г. К., Лашнева И. А., Сермягин А. А. Выявление генов, ассоциированных с технологическими свойствами молока коров, с помощью GWA-анализа и генной онтологии. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1112–1124. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1112-1124>

Поступила: 17.03.2025

Принята к публикации: 16.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Identification of genes associated with technological properties of cow milk using GWA analysis and gene ontology

© 2025. Maria V. Levchenko¹✉, Galina G. Karlikova¹, Galina K. Petryakova¹, Irina A. Lashneva¹, Alexander A. Sermyagin²

¹Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Podolsk, Moscow region, Russian Federation,

²All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Saint Petersburg, Russian Federation

In recent years, there has been a significant development of technologies in the field of genetics and breeding of cattle, which opens new opportunities for increasing productivity and quality of dairy products. The present work is devoted to the study of genetic determination of technological properties of cow milk, namely, thermostability and rennet coagulation.

The aim of the study was to perform a genome-wide association analysis (GWA) to identify positional candidate genes determining the formation of cow milk technological traits, followed by functional annotation for a thorough understanding of the mechanisms of gene action and their contribution to phenotype formation. As the result of GWA analysis there were identified 17 SNPs significantly associated with milk thermal stability located on chromosomes BTA3, BTA6, BTA8, BTA23, BTA24, BTA27, BTA28 and BTA29. There were also identified 34 SNPs associated with milk rennet coagulation localized on chromosomes BTA1, BTA2, BTA3, BTA5, BTA6, BTA9, BTA10, BTA12, BTA14, BTA15, BTA16, BTA18, BTA20, BTA23, BTA24, BTA26 and BTA27. Functional annotation revealed 144 genes grouped into 43 nodes and nine clusters. Among all nine clusters, four of them involved genes responsible for thermostability (CNOT7) and rennet milk coagulation (HHAT, NEDD9, ZNF423). Functional annotation of 11 identified candidate genes (HHAT, PDE3B, AK8, AK2, CNOT7, XRN2, NOP14, NEDD9, SMAD3, ZNF423, EBF1) using the DAVID database identified their involvement in biological processes such as protein palmitoylation, regulation of cellular activity, nucleotide biosynthesis and translation regulation. Associations between individual genes (HHAT, AK8, EBF1) and QTLs affecting milk productivity and milk quality composition were also identified. The results of the study contribute to the understanding of the genetic architecture of technological properties of milk and can be used in genomic selection to improve the quality of dairy products.

Keywords: dairy cattle breeding, Holstein breed, genome-wide association study, functional gene annotation, SNP markers, thermostability of milk, rennet coagulation of milk

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 Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst No. FGGN-2024-0013, theme No. 124020200029-4).

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

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

For citation: Levchenko M. V., Karlikova G. G., Petryakova G. K., Lashneva I. A., Sermyagin A. A. Identification of genes associated with technological properties of cow milk using GWA analysis and gene ontology. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1112–1124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1112-1124>

Received: 17.03.2025

Accepted for publication: 16.10.2025

Published online: 31.10.2025

Молочное скотоводство является одной из ключевых отраслей сельского хозяйства, обеспечивающей продовольственную безопасность и экономическую стабильность многих стран, включая Россию. Современные вызовы в отрасли связаны с подорожанием кормов на 15–20 % и волатильностью мировых рынков продовольствия. Для решения этих проблем необходимо модернизировать производственные процессы и внедрять инновационные технологии [1].

В последние годы наблюдается значительное развитие технологий в области генетики и селекции крупного рогатого скота (КРС), что открывает новые возможности для повышения продуктивности и качества молочной продукции. Одним из наиболее перспективных подходов в этом контексте является применение полногеномного анализа ассоциаций (*Genome-Wide Association*, GWA-анализ) и методов функционального изучения генов для исследования генетических факторов, которые влияют на качественный состав и технологические показатели молока [2, 3].

Полногеномный анализ ассоциаций представляет собой мощный инструмент для выявления однонуклеотидных полиморфизмов (*Single Nucleotide Polymorphism*, SNP), связанных с фенотипическими признаками (удой, содержание жира, белка и др.). Этот метод позволяет исследовать сложные полигенные признаки,

определяющие продуктивность молочного скота, и использовать полученные данные для геномной селекции [4, 5, 6, 7].

В России GWA-анализ активно применяется для изучения генетической архитектуры высокопродуктивных молочных пород. Примером успешного применения GWA-анализа является идентификация QTL (локусов количественных признаков), связанных с содержанием белка и жира в молоке. Исследования показали, что такие гены, как *CSN1S1*, *CSN1S2*, *CSN2*, *CSN3*, *ABCG2*, *DGAT1* и *FASN*, играют ключевую роль в регуляции не только этих показателей, но и технологических признаков молока (коагуляционные свойства молока, выход сыра, количество летучих соединений, влияющих на аромат сыра) [8, 9, 10, 11]. Кроме того, GWA-анализ используется для изучения адаптивных признаков, таких как устойчивость к стрессу или заболеваниям, что особенно важно в условиях российских климатических зон [2, 12].

Методы генной онтологии (*Gene Ontology*, GO) дополняют GWA-анализ, позволяя проводить функциональную аннотацию выявленных генов-кандидатов. Классификация генов по их биологическим процессам, молекулярным функциям и клеточным компонентам помогает понять механизмы действия генов и их вклад в формирование фенотипа [13, 14, 15, 16].

В последние годы Россия активно внедряет инновационные подходы в селекции КРС, что отражается в проектах Министерства сельского хозяйства РФ¹. Переход от традиционной оценки племенной ценности к геномной селекции позволяет не только сохранять породные признаки животных, но и отбирать наиболее экономически эффективных особей для разведения. Ведущие российские научные центры разрабатывают базы данных для генотипирования КРС, что способствует ускорению селекционного процесса.

Применение GWA-анализа и методов геномной онтологии открывает новые горизонты в изучении генетических основ продуктивности молочного скота. Эти подходы позволяют не только повысить эффективность селекционных программ, но и улучшить качество продукции за счет точного управления генетическими ресурсами. В условиях России данные методы становятся важным инструментом для достижения конкурентоспособности отечественного молочного животноводства на мировом рынке.

Цель исследования – провести полногеномный анализ ассоциаций для выявления генов-кандидатов, влияющих на технологические свойства молока коров голштинской породы, с последующей функциональной аннотацией для понимания генетических механизмов и их роли в формировании фенотипа.

Научная новизна – впервые проведен полногеномный анализ ассоциаций для выявления генетических вариантов, детерминирующих термостабильность и сычужную свертываемость молока у коров голштинской породы в российской популяции. Идентифицированы новые SNP и гены-кандидаты, ассоциированные с данными технологическими признаками, что расширяет понимание генетической архитектуры качества молока. Результаты функциональной аннотации генов позволили установить их вовлеченность в ключевые биологические процессы, определяющие технологические свойства молока, такие как метаболизм нуклеотидов и регуляция клеточной активности.

Материал и методы. Объектом исследования служили коровы голштинской породы ($n = 190$), разводимые на базе ПЗ «Ладожский» – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста (ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста). Материал для исследований – пробы молока ($n = 2981$) и биологические образцы в виде ушных выщипов коров (2022–2024 гг.). Пополнение выборки производили на протяжении всего периода исследований, в связи с чем, некоторые животные имели данные только по первой лактации (особи, вошедшие в выборку в 2023–2024 гг.). Таким образом, выборка была выровнена по фактору среды и генерализирована в рамках хозяйства.

Пробы молока для популяционного анализа отбирали специалисты сельскохозяйственного предприятия ежемесячно в ходе контрольных доений на протяжении всего периода наблюдений. Отбор проб осуществляли три раза в течение суток – утром, днем и вечером. Вечернее молоко поступало в лабораторию без добавления консервантов, что делало его пригодным для оценки технологических свойств молока.

Были проведены исследования на термостабильность (алкогольная проба, ГОСТ 25228-82²) и сычужную свертываемость (сычужно-бродильная проба, ГОСТ 32901-2014³). Полученные фенотипические показатели коров использовали для анализа полногеномных ассоциаций (средние значения для общей выборки: термостабильность – 2,99 балла; сычужная свертываемость – 2,87 балла).

Исследования проводили в лаборатории селекционного контроля качества молока ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста. Для оценки технологических свойств молока использовали натуральный сычужный фермент для сыра и творога CAGLIO CLERICI 50/50 (химозин телячий/пепсин бычий) с активностью 100000 ед. ВНИИМС/г (активность ферментного препарата измерена и стандартизирована по методике Всероссийского научно-исследовательского института метрологической службы на грамм продукта), а также этиловый спирт (96 %).

¹Распоряжение Минсельхоза России от 26.12.2024 N 314-р «Об утверждении плана по разработке проектов приказов Минсельхоза России на 2025 год». URL: <https://pravo.ppt.ru/rasporyazheniye/309661>

²ГОСТ 25228-82. Молоко и сливки. Метод определения термоустойчивости по алкогольной пробе. М.: ИПК издательство стандартов, 2004. 4 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294829/4294829195.pdf>

³ГОСТ 32901-2014. Молоко и молочная продукция. Методы микробиологического анализа. М.: Стандартинформ, 2015. 28 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293767/4293767354.pdf>

Выделение ДНК из ушных выщипов и SNP-генотипирование осуществляли на базе объекта научной инфраструктуры «Биотехнология животных» (ОНИС БиоТехЖ) при ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л. К. Эрнста в соответствии со стандартными протоколами, в лаборатории ООО «Мираторг-Генетика». Генотипирование животных проводили с использованием биочипов средней и высокой плотности BovineSNP50K v3 beadchip и Bovine GGP 150K (Illumina Inc., Neogen, США).

Это была поисковая работа, поэтому некая несбалансированность данных первичного зоотехнического учета, возможно, оказала влияние на результативность определения достоверности ассоциаций, выявленных в ходе GWA-анализа. Этот момент учтен в настоящих исследованиях путем применения методологий нормирования первичных данных (оценка фактора «возраст», «номер» и «год лактации»), а также расширения выборки.

Статистическую обработку данных проводили в программах *MS Excel (Microsoft, США)*, *STATISTICA 10*, контроль качества генотипирования (35407 SNP – для изучаемой выборки коров), анализ полногеномных ассоциаций – в программе *Plink 1.9* (2015). Визуализацию результатов GWA-анализа осуществляли с помощью пакетов языка программирования *R CMplot* и *qqman*. Для поиска генов по выявленным значимым полиморфизмам по результатам GWA-анализа использовали общедоступный ресурс *NCBI* (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/>, сборка генома крупного рогатого скота *Bos_taurus_UMD_3.1.1*). Аннотацию генов для определения локусов количественных признаков (*Quantitative Trait Loci*, QTL) на хромосомах животных осуществляли по базе данных *Animal QTL database* (<https://www.animalgenome.org/cgi-bin/QTLdb/index>). Функциональные аннотации и выявление анализа обогащения генов выполняли с привлечением базы данных *DAVID (Database for Annotation, Visualization, and Integrated Discovery)* (<https://david.ncifcrf.gov/summary.jsp>).

Результаты и их обсуждение. Настоящее исследование предоставляет новую информацию о генетических полиморфизмах, влияющих на изменчивость параметров качества молока коров голштинской породы. Анализ генетических данных позволил выявить конкретные генетические варианты, которые могут быть использованы в селекции. Результаты

GWA-анализа для показателей термостабильности и сычужной свертываемости молока в исследованной выборке визуализированы на графике, что позволяет глубже понять генетические основы этих технологических свойств молока (рис. 1).

В результате проведенного исследования было идентифицировано 17 SNP, демонстрирующих ассоциацию с термостабильностью молока. Пространственное распределение выявленных маркеров охватывает несколько хромосом: BTA3 (3 SNP); BTA6 (1 SNP); BTA8 (1 SNP); BTA23 (3 SNP); BTA24 (1 SNP); BTA27 (1 SNP); BTA28 (4 SNP); BTA29 (2 SNP). Наибольшая плотность ассоциированных SNP наблюдается на хромосомах BTA3, BTA23 и BTA28, где обнаружено 3, 3 и 4 маркера соответственно, что подчеркивает их возможную значимость в формировании исследуемого признака. Хромосома BTA28 продемонстрировала максимальное количество ассоциированных маркеров, подчеркивая её ключевое значение для дальнейших исследований.

Среди всех выявленных SNP были обнаружены три варианта, обладающих статистически значимой ассоциацией с фенотипом ($p < 0,0005$) и локализованных на 8-ой, 24-ой и 27-ой хромосомах. Для SNP ARS-BFGL-NGS-63329, расположенного на хромосоме BTA8, не удалось однозначно идентифицировать ген-кандидат, тогда как для остальных двух мутаций были определены соответствующие гены.

Оставшиеся 14 SNP несмотря на то, что их значения p -уровня не достигли строгого порога статистической значимости ($p < 0,0005$), представляют собой интересные паттерны, требующие дальнейшей проверки и интерпретации.

Наибольший интерес из выявленных 17 SNP-маркеров представляют шесть SNP, для которых была установлена принадлежность к определённым генам (табл. 1). Эти полиморфизмы расположены вблизи генов, потенциально участвующих в регуляции белкового состава молока, что может указывать на их функциональную роль в формировании термостабильности молока.

В ходе анализа выявлено 34 SNP-маркера, ассоциированных с сычужной свертываемостью молока. Распределение маркеров по хромосомам показало следующую картину: BTA1 (1), BTA2 (2), BTA3 (1), BTA5 (1), BTA6 (2), BTA9 (2), BTA10 (8), BTA12 (1), BTA14 (1), BTA15 (3), BTA16 (4), BTA18 (1), BTA20 (1),

ВТА23 (2), ВТА24 (1), ВТА26 (1) и ВТА27 (2). Наибольшая концентрация маркеров обнаружена на хромосоме ВТА10, где локализовано 8 SNP, что составляет почти четверть от общего числа выявленных ассоциаций. Кластеры SNP

на ВТА10 и ВТА16 расположены в регионах, содержащих гены, связанные с синтезом казеинов и регуляцией протеолиза, что потенциально объясняет их влияние на скорость и качество сычужного свертывания.

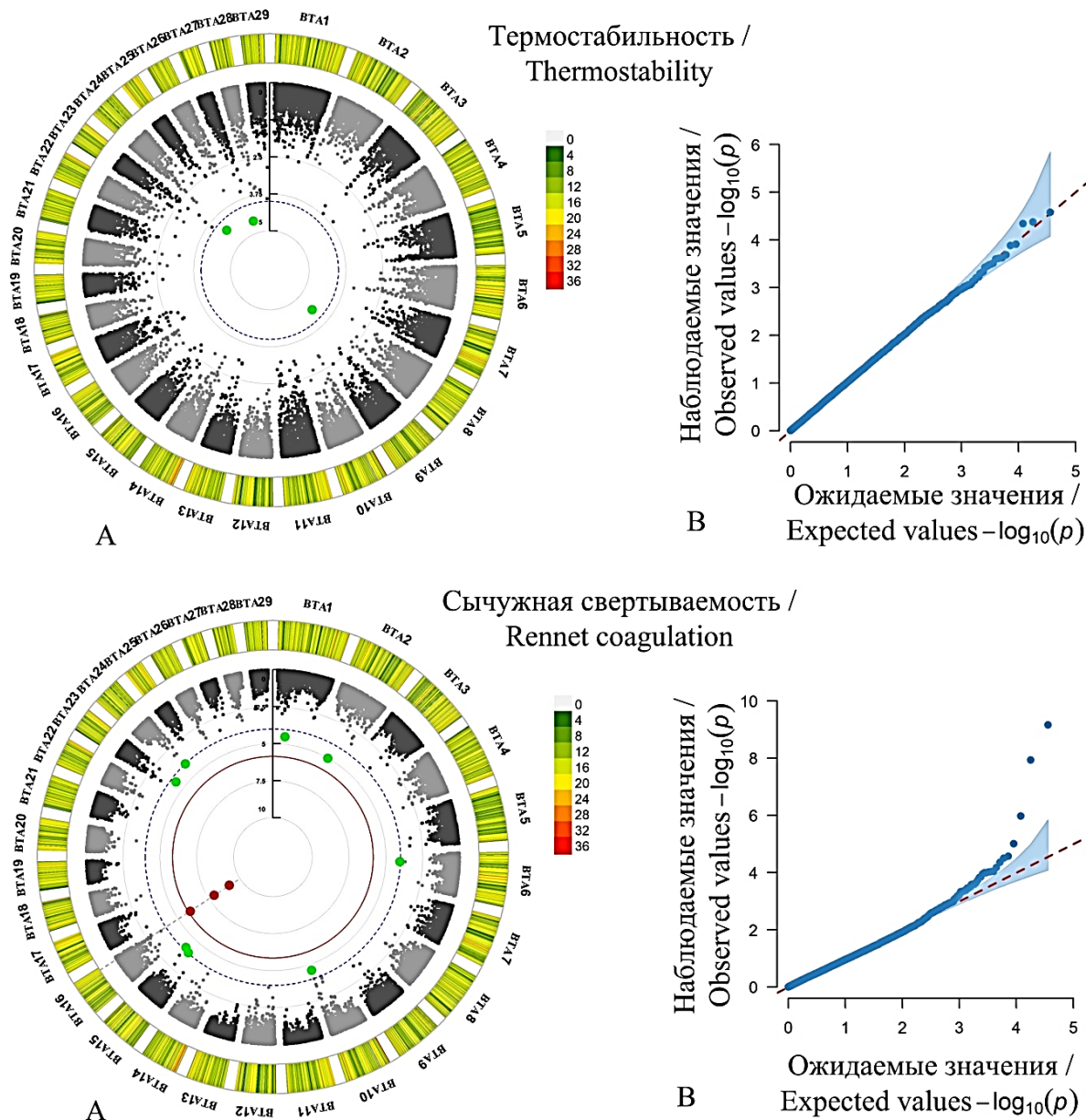


Рис. 1. Результаты полногеномного анализа ассоциаций (GWA –анализ) для технологических свойств молока коров голштинской породы: А - круговая диаграмма GWA-анализа (сплошная линия – порог по Бонферрони ($1,41 \times 10^{-6}$), пунктирная – порог для суггестивных ассоциаций ($1,00 \times 10^{-4}$); В – q-q (квантиль-квантиль) график распределения ожидаемых и наблюдаемых значений достоверности ассоциаций /

Fig. 1. Results of Genome-Wide Association analysis (GWA-analysis) for technological properties of milk of Holstein cows: A – GWA-analysis pie chart (solid line – Bonferroni threshold (1.41×10^{-6}), dashed line – threshold for suggestive associations (1.00×10^{-4}); B - q-q (quantile-quantile) distribution plot of expected and observed values of reliability of associations

Таблица 1 – Выявленные однонуклеотидные полиморфизмы (SNP), ассоциированные с технологическими показателями молока /

Table 1 – Identified Single Nucleotide Polymorphism (SNP) associated with milk technological parameters

<i>BTA</i>	<i>SNP</i>	<i>p-value</i>	<i>Позиция / Position</i>	<i>Ген, Протяженность / Gene, Extent</i>
Термостабильность / Thermostability				
6	ARS-BFGL-NGS-100768	3,78E ⁻⁰⁴	43777249	<i>GPHA2</i> ^{43774232...43777780}
23	ARS-BFGL-NGS-118652	1,31E ⁻⁰⁴	32527488	<i>LRIF1</i> ^{32512177...32532418}
24	Нармаp50627-BTA-23969	4,55E ⁻⁰⁵	975414	<i>VSTM5</i> ^{950259...979365}
27	ARS-BFGL-NGS-44464	2,64E ⁻⁰⁵	37331358	<i>NRG3</i> ^{37100549...38352653}
27	Нармаp59411-ss46526171	3,23E ⁻⁰⁴	19067353	<i>CNOT7</i> ^{19052444...19067492}
28	ARS-BFGL-NGS-69496	4,65E ⁻⁰⁴	18967449	<i>SORCS2</i> ^{118437483...118929004}
Сычужная свертываемость / Rennet coagulation				
5	ARS-BFGL-NGS-37234	4,51E ⁻⁰⁴	115333478	<i>EFCA6</i> ^{115126904...115419187}
6	Нармаp53749-rs29023061	9,18E ⁻⁰⁵	30365819	<i>UNC5C</i> ^{30361233...30787250}
10	BTB-00433469	1,02E ⁻⁰⁴	69862924	<i>EXOC5</i> ^{69860578...69914483}
10	Нармаp59040-rs29025644	2,61E ⁻⁰⁴	72202330	<i>RTN1</i> ^{72111268...72364066}
15	ARS-BFGL-NGS-105708	6,67E ⁻⁰⁵	67734760	<i>PRR5L</i> ^{67584259...67741051}
15	ARS-BFGL-NGS-22122	9,51E ⁻⁰⁵	45968445	<i>SYT9</i> ^{45953725...46116765}
15	Нармаp59089-rs29024353	3,23E ⁻⁰⁴	65408389	<i>LMO2</i> ^{65394510...65425109}
16	BTB-01403623	7,04E ⁻¹⁰	74776127	<i>HHAT</i> ^{74545160...74880210}
16	BTB-01586834	1,18E ⁻⁰⁸	74870220	<i>HHAT</i> ^{74545160...74880210}
18	ARS-BFGL-NGS-8204	4,67E ⁻⁰⁴	18093362	<i>ZNF423</i> ^{18041276...18392207}
23	ARS-BFGL-NGS-100121	4,42E ⁻⁰⁵	44929897	<i>NEDD9</i> ^{44799116...44988910}
23	ARS-BFGL-NGS-4743	3,50E ⁻⁰⁴	13060214	<i>KCNK5</i> ^{13055370...13095621}
27	ARS-BFGL-NGS-112590	4,28E ⁻⁰⁴	1099585	<i>CSMD1</i> ^{1016476...1332844}
27	BTA-103612-no-rs	4,28E ⁻⁰⁴	1121464	<i>CSMD1</i> ^{1016476...1332844}

Анализ полногеномных ассоциаций показал, что наиболее высоко значимые и достоверные взаимосвязи (11 SNP-маркеров; $p < 0,0005$) для показателя сычужной свертываемости молока были выявлены на 1, 2, 6, 10, 15, 16, 23, 24 хромосомах крупного рогатого скота, что свидетельствует о вовлечённости различных участков генома в регуляцию данного фенотипа.

Для четырёх из указанных значимых SNP, а также двух маркеров, обладающих особенно высокой достоверностью, была осуществлена идентификация соответствующих генов (табл. 1). Среди 23 SNP, отнесённых к категории суггестивных ассоциаций и представляющих интерес для дальнейших исследований, восемь локусов были локализованы внутри генов.

Кластеризация генов, ответственных за термостабильность и сычужную свертываемость, не показала отдельных кластеров (гены

не были связаны между собой). Однако они были связаны с генами, формирующими качественный состав молока (рис. 2). Функциональная аннотация выявила 144 гена, сгруппированных в 43 узлах и 9 кластерах.

В двух кластерах были аннотированы следующие биологические процессы:

- Активность аденилаткиназы (GO:0004017) (гены *AK2* и *AK8*) поддерживает баланс между концентрациями аденозинтрифосфата (АТФ), аденозиндифосфата (АДФ) и аденозинмонофосфата (АМФ), что является критически важным для энергетического гомеостаза и метаболических процессов.

- Активность РНК-экзонуклеазы (GO:0016896) (гены *CNOT7* и *HRN2*) в процессе отщепления нуклеотидов с концов полинуклеотидных цепей, что способствует деградации нуклеиновых кислот и регуляции экспрессии генов.

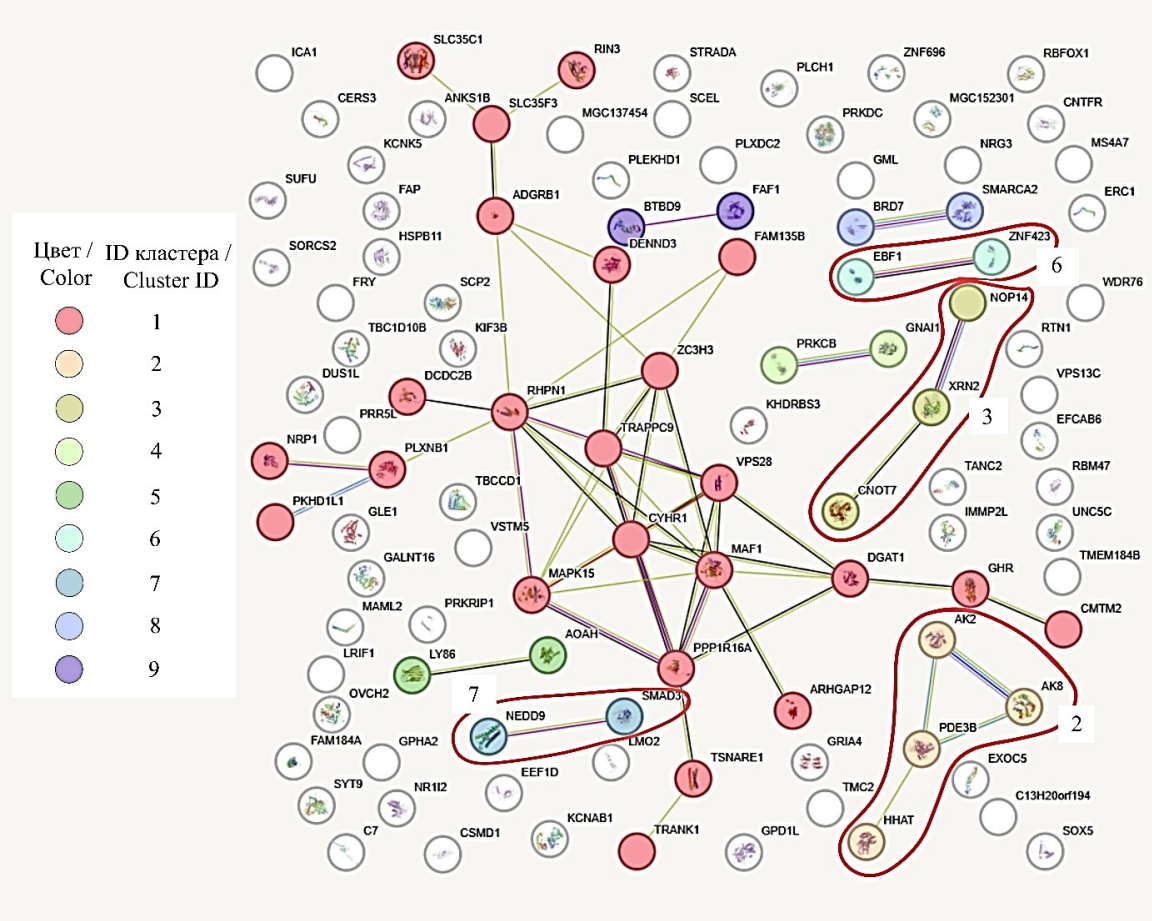


Рис. 2. Функциональная кластеризация выявленных генов-кандидатов /
Fig. 2. Functional clustering of identified candidate genes

Для понимания достоверности влияния идентифицированных генов следующий этап аннотации провели с использованием базы данных локусов количественных признаков коров. Для установления связи между отдельными генами (*HNAT*, *AK8*, *EBF1*), отвечающими за качественные характеристики молока,

и QTL, которые определяют количественные параметры молочной продуктивности был проведен анализ. Это необходимо для понимания генетической архитектуры признаков и разработки стратегий селекции молочного скотоводства (табл. 2).

Таблица 2 – Ассоциации между локусами количественных признаков (QTL) и генами, влияющими на технологические свойства и некоторые признаки молочной продуктивности крупного рогатого скота /
Table 2 – Associations between Quantitative Trait Loci (QTL) and genes affecting technological properties and some traits of dairy performance in cattle

Ген (хромосома) / Gene (chromosome)	Признак / Trait	QTL крупного рогатого скота / Cattle QTL
<i>HNAT</i> (BTA16)	Сычужная свертываемость / Rennet coagulation	Продолжительность продуктивной жизни / Length of productive life (QTL:48485).
		Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:48483).
		Процент молочного белка / Milk protein percentage (QTL:48486).
		Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:48487).
		Оценка количества соматических клеток в молоке / Estimation of somatic cell count in milk (QTL:48490)
<i>AK8</i> (BTA11)	Точка замерзания молока / Milk freezing point	Содержание насыщенных жирных кислот в молоке / Saturated fatty acid content in milk (QTL:32663).
<i>EBF1</i> (BTA7)	Массовая доля жира / Milk fat percentage	Процент жира в молоке / Percentage of fat in milk (QTL:43246).
		Выход молочного жира / Milk fat yield (QTL:43248).
		Выход молочного белка / Milk protein yield (QTL:43251).

Ген *HNAT*, локализованный на хромосоме BTA16, ассоциирован с несколькими QTL, включая продолжительность продуктивной жизни (QTL:48485), выход молочного жира и белка (QTL:48483; QTL:48487), процент молочного белка (QTL:48486) и оценку количества соматических клеток в молоке (QTL:48490). Ген *AK8*, локализованный на хромосоме BTA11, ассоциирован с содержанием насыщенных жирных кислот в молоке (QTL:32663). Ген *EBF1*, расположенный на хромосоме BTA7, показал связь с процентом жира в молоке (QTL:43246), выходом молочного жира и белка (QTL:43248; QTL:43251). Полученные данные указывают на потенциальную роль этих генов в определении важных качественных и количественных показателей молока крупного рогатого скота.

Среди всех девяти кластеров в четырех из них были задействованы гены, ответственные за термостабильность и сычужную свертываемость молока (табл. 3).

Гены *HNAT*, *PDE3B*, *AK8* и *AK2* выполняют взаимосвязанные функции, влияя на клеточную активность, включая энергетический метаболизм, адгезию и ангиогенез. Кластер этих генов мог сформироваться для обеспечения быстрой реакции клетки на изменения внешней среды. Ген *HNAT* участвует в процессе пальмитоилирования белка (GO:0018345), что влияет на содержание общего белка в молоке и свойства мембранных белков, участвующих в синтезе белковых компонентов молока, таких как казеин и сывороточные белки. Пальмитоилированные белки могут влиять на текстуру и стабильность молочных продуктов (например, сыра или йогурта), что связано с их ролью в межбелковых взаимодействиях.

Ген *PDE3B* регулирует сигнальные пути (GO:0007165) через контроль уровня циклических нуклеотидов (например, cAMP), что влияет на процессы ангиогенеза (GO:0016525), липидного катаболизма (GO:0050995) и клеточной адгезии (GO:0007162). Ангиогенез критически важен для нормального функционирования кровеносных сосудов и тканей, включая молочную железу. Его подавление может привести к снижению содержания белка и жира в молоке, что ухудшает его питательную ценность и технологические свойства. Регуляция катаболизма липидов у коров включает механизмы, контролируемые расщепление жиров, что существенно влияет на обмен веществ и здоровье животных, а также оказы-

вает значительное воздействие на молочную продуктивность, качество молока и его технологические характеристики.

Гены *AK8* и *AK2* участвуют в метаболических процессах синтеза нуклеотидов (АТФ, АДФ, АМФ) и белков (GO:0009142; GO:0006139; GO:0006172; GO:0046033; GO:0046034). Уровень нуклеотидов оказывает влияние на содержание белков и жиров в молоке. Достаточное количество АТФ поддерживает нормальный синтез казеина и сывороточных белков, что улучшает состав и качество молока. Нуклеотиды влияют на функциональные свойства белков в молоке, такие как коагуляция и эмульгация, что критично для производства сыров и других молочных продуктов, где текстура и стабильность имеют ключевое значение. Уровень АТФ влияет на стабильность молочных продуктов при хранении и переработке, поскольку высокий уровень энергии способствует лучшему взаимодействию между компонентами молока, улучшая его физико-химические свойства. Ген *AK2* ранее не был описан у молочного скота, однако у людей мутации в этом гене приводят к серьезным проблемам с кроветворением, так как *AK2* необходим для роста и развития клеток крови [17].

Таким образом, кластер генов *HNAT*, *PDE3B*, *AK8* и *AK2* оказывает значительное влияние на качественный состав и технологические свойства молока коров через регуляцию метаболизма, содержание белка и жира, а также через механизмы, влияющие на сычужную свертываемость.

Кластер генов *CNOT7*, *XRN2* и *NOPI4* имеет важные функции, связанные с регуляцией клеточной активности, сперматогенезом и биогенезом рибосом. Ген *CNOT7* участвует в регуляции трансляции (GO:0006417) и пролиферации (GO:0008284; GO:0008285) клеток, что важно для поддержания нормального клеточного цикла и роста тканей. Пролиферация клеток влияет на развитие молочных желез и общее состояние коровы, что непосредственно сказывается на количестве и качестве молока. Регуляция трансляции может влиять на качество белков, что также важно для термостабильности. Высококачественные белки лучше сохраняют свои свойства при термической обработке. Ген *CNOT7* ранее не был описан у молочного скота, однако, было определено, что экспрессия гена *CNOT7* предположительно связана со зрелостью постного мяса у коров англусской породы [18].

Таблица 3 – Функциональная аннотация генов-кандидатов по технологическим признакам молока и связанных с ними других генов в кластерах /

Table 3 – Functional annotation of candidate genes for milk technological traits and other related genes in clusters

Ген (хромосома): признак / Gene (chromosome): trait	Функции генов и онтология (DAVID) / Gene functions and ontology (DAVID)
Кластер 2 / Cluster 2	
<i>HNAT</i> (BTA16): Сычужная свертываемость / Rennet coagulation	Пальмитоилирование белка / Protein palmitoylation (GO:0018345).
<i>PDE3B</i> (BTA15): Точка заморзания молока / Milk freezing point	Регуляция клеточной активности / Regulation of cellular activity (GO:0007162, GO:0007165). Регуляция ангиогенеза / Regulation of angiogenesis (GO:0016525). Метаболизм / Metabolism (GO:0050995).
<i>AK8</i> (BTA11): Точка заморзания молока / Milk freezing point	Биосинтез нуклеотидов / Nucleotide biosynthesis (GO:0009142).
<i>AK2</i> (BTA2): Массовая доля жира / Milk fat percentage	Метаболизм нуклеотидов / Nucleotide metabolism (GO:0006139, GO:0006172, GO:0046033, GO:0046034).
Кластер 3 / Cluster 3	
<i>CNOT7</i> (BTA27): Термостабильность / Thermal stability	Регуляция трансляции / Regulation of translation (GO:0006417). Пролиферация клеток / Cell proliferation (GO:0008284, GO:0008285).
<i>XRN2</i> (BTA13) / pH	Сперматогенез / Spermatogenesis (GO:0007283).
<i>NOP14</i> (BTA6): Массовая доля лактозы / Lactose mass fraction	Биогенез рибосом / Ribosome biogenesis (GO:0042254).
Кластер 6 / Cluster 6	
<i>ZNF423</i> (BTA18): Сычужная свертываемость / Rennet coagulation	Пролиферация и дифференцировка клеток / Cell proliferation and differentiation (GO:0021930, GO:0050872, GO:0050873). Регуляция метаболизма / Metabolic regulation (GO:0120163).
<i>EBF1</i> (BTA7): Массовая доля жира / Milk fat percentage	Регуляция транскрипции / Regulation of transcription (GO:0006355, GO:0006357).
Кластер 7 / Cluster 7	
<i>NEDD9</i> (BTA23): Сычужная свертываемость / Rennet coagulation	Клеточная адгезия и миграция / Cell adhesion and migration (GO:0007155, GO:0016477, GO:0097021, GO:0140131). Регуляция дифференцировки клеток / Regulation of cell differentiation (GO:0045672, GO:2000522). Организация цитоскелета / Organization of the cytoskeleton (GO:0032956); Нервные процессы / Nervous processes (GO:0007611).
<i>SMAD3</i> (BTA10): Точка заморзания молока / Milk freezing point	Развитие и морфогенез / Development and morphogenesis (GO:0001657, GO:0001701, GO:0001707, GO:0001756, GO:0001889, GO:0030878, GO:0060039). Клеточная пролиферация и дифференцировка / Cell proliferation and differentiation (GO:0008283, GO:0030154). Иммунные процессы / Immune processes (GO:0002520, GO:0006955). Регуляция роста и развития / Regulation of growth and development (GO:0010718). Ответ на внешние факторы / Response to external factors (GO:0001666). Метаболические процессы / Metabolic processes (GO:0045429).

Ген *XRN2* связан со сперматогенезом, что может влиять на репродуктивные способности животных и, следовательно, продуктивность стада.

Ген *NOP14* играет важную роль в биогенезе рибосом (GO:0042254), что является критическим для синтеза белков. Эффективное производство рибосом существенно влияет на общую продуктивность клеток и имеет решающее значение для формирования казеина и сывороточных белков. Генетические факторы, влияющие на биосинтез рибосом, могут способствовать более эффективному производству термостабильных белков. В исследованиях на молочном скоте ген *NOP14* не был выявлен. Однако в исследованиях Х. Yan [19] ген *NOP14* был выявлен как маркер для оценки эффективности терапии онкологии у людей. Высокий уровень *NOP14* у пациентов с раком ассоциируется с худшим прогнозом, но также делает опухоль более чувствительной к ингибиторам mTOR.

Таким образом, гены *CNOT7*, *XRN2* и *NOP14* оказывают влияние на качество молока коров через регуляцию клеточной активности и биосинтеза белков.

Кластер генов *NEDD9* и *SMAD3* включает функции, связанные с клеточной адгезией, миграцией, развитием и иммунным ответом. Клеточная адгезия (GO:0007155) и миграция клеток (GO:0016477), в регуляции которых участвует ген *NEDD9*, способствуют нормальному функционированию молочной железы, что может влиять на синтез и выделение молочных белков, включая казеин. Увеличение содержания казеина связано с улучшением сычужной свертываемости молока. Положительная регуляция дифференцировки остеокластов (GO:0045672) может влиять на уровень кальция в организме коровы, что важно для формирования молока с хорошими технологическими свойствами, поскольку кальций играет ключевую роль в свертывании молока. Регуляция организации актинового цитоскелета (GO:0032956) может влиять на процесс секреции молока и его состав, учитывая участие актинового цитоскелета в клеточной структуре и функции.

Ген *SMAD3* участвует во внутриутробном эмбриональном развитии (GO:0001701) и клеточной дифференциации (GO:0030154), а также развитии иммунной системы (GO:0002520) и иммунном ответе (GO:0006955), что влияет на общее состояние здоровья коровы и ее

способность производить высококачественное молоко. Таким образом, взаимодействие между этими генами может приводить к улучшению здоровья коров и повышению качества молока, включая его сычужную свертываемость.

Ген *SMAD3* активно экспрессируется как в миоцитах, так и в предадипоцитах, что подчеркивает его важную роль в их дифференцировке [20]. Поскольку миоциты и предадипоциты происходят из одних и тех же мезенхимальных стволовых клеток, уровень экспрессии *SMAD3* определяет преобладание миогенной или адипогенной линии дифференцировки, что важно для поддержания баланса между мышечной и жировой тканью. Таким образом, результаты исследования подчеркивают значимость *SMAD3* как ключевого регулятора в процессе клеточной дифференцировки как мышечной, так и жировой ткани у крупного рогатого скота.

Влияние кластера генов *ZNF423*, *EBF1* на компонентный состав и сычужную свертываемость молока коров может быть связано с регуляцией клеточных процессов и метаболизма. Ген *ZNF423* участвует в дифференцировке белых и бурых жировых клеток (GO:0050872; GO:0050873), что может изменять процентное содержание жира в молоке.

Ген *ZNF423* не был выявлен в работах на коровах молочного направления продуктивности. Однако исследования на мясных породах скота показали, что SNP (18: 17150858) в гене *ZNF423* связан с потреблением корма и метаболическим весом у коров мясного направления. Другой вариант этого гена (18: 17152044) влияет на жирность и качество мяса [21]. У людей высокие уровни *ZNF423* коррелировали с более короткой выживаемостью при холангиокарциноме, что указывает на его прогностическое значение [22].

Ген *EBF1* регулирует транскрипцию ДНК (GO:0006355) и транскрипцию РНК-полимеразой II (GO:0006357), что может влиять на синтез казеина и других белков молока. Оба гена, участвуя в регуляции клеточных процессов, могут косвенно влиять на сычужную свертываемость молока. Например, изменения в минеральном составе молока, такие как уровень кальция, могут влиять на процесс свертывания.

В исследованиях на молочном скоте ген *EBF1* не был выявлен. Однако ранее было отмечено, что ген *EBF1* играет ключевую роль в дифференцировке перитов и поддержании сосудистой стабильности, влияя на экспрессию других генов, связанных с их функциями [23].

Закключение. В результате проведенного полногеномного анализа ассоциаций и функциональной аннотации генов, детерминирующих формирование технологических показателей молока коров голштинской породы, были получены следующие ключевые выводы:

- идентифицировано 17 SNP, ассоциированных с термостабильностью молока и локализованных на хромосомах ВТА3, ВТА6, ВТА8, ВТА23, ВТА24, ВТА27, ВТА28 и ВТА29. Три однонуклеотидных полиморфизма на хромосомах ВТА3, ВТА23 и ВТА28 являются статистически достоверными;

- для сычужной свертываемости молока было идентифицировано 34 SNP локализованных на хромосомах ВТА1, ВТА2, ВТА3, ВТА5, ВТА6, ВТА9, ВТА10, ВТА12, ВТА14, ВТА15, ВТА16, ВТА18, ВТА20, ВТА23, ВТА24, ВТА26 и ВТА27. Выявлены наиболее высоко значимые и достоверные взаимосвязи (11 SNP-маркеров; $p < 0,0005$) для показателя сычужной свертываемости молока на 1, 2, 6, 10, 15, 16, 23, 24 хромосомах крупного рогатого скота;

- GWA-анализ позволил выявить ряд генов-кандидатов, ассоциированных с термостабильностью и сычужной свертываемостью молока (*HNAT*, *CNOT7*, *NEDD9*, *ZNF423*), которые образовывали кластеры с генами, ответственными за технологические свойства и компонентный состав молока. Эти гены участвуют в различных биологических процессах, таких как пальмитоилирование белка, регуляция клеточной активности, биосинтез нуклеотидов и регуляция трансляции;

- анализ данных выявил ассоциации между отдельными генами и количественными локусами признаков, влияющими на характеристики молока. Ген *HNAT* ассоциирован с продолжительностью продуктивной жизни, выходом молочного жира и белка, а также оценкой количества соматических клеток в молоке. Ген *AK8* ассоциирован с содержанием насыщенных жирных кислот в молоке, ген *EBF1* – с процентом жира и выходом молочного жира и белка;

- полученные результаты позволяют расширить понимание генетической архитектуры технологических свойств молока у коров голштинской породы. Выявленные гены-кандидаты могут быть использованы в геномной селекции для улучшения качества молока и повышения эффективности молочного животноводства. В практическом аспекте при дальнейших исследованиях с расширением выборки и применением методологий нормирования первичных данных (оценка фактора «возраст», «номер» и «год лактации») результаты смогут открыть перспективы для разработки специализированных панелей генетических маркеров, включающих наиболее информативные SNP и гены-кандидаты. Такие панели могут быть интегрированы в программы геномной селекции, что позволит повысить точность и эффективность отбора животных с улучшенными показателями качества молока и технологической пригодности. Внедрение данных подходов будет способствовать оптимизации молочного животноводства, повышению продуктивности и экономической эффективности отрасли.

References

1. Суровцев В. Н. Тенденции и перспективы развития молочного животноводства России: риски и возможности. Молочная промышленность. 2023;(2):12–16.
DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-02-12-16> EDN: UQGWLO
Surovtsev V. N. Trends and prospects of development of dairy farming in Russia: risks and opportunities. *Molochnaya promyshlennost'* = Dairy Industry. 2023;(2):12–16. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.31515/1019-8946-2023-02-12-16>
2. Ларкина Т. А., Ширяев Г. В. GWAS как инструмент обнаружения SNPs у крупного рогатого скота для изучения их связи с воспроизводством, продуктивностью, ростом, поведением, болезнями. Аграрная наука. 2024;1(8):124–131. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-124-131> EDN: FIMLEZ
Larkina T. A., Shiryayev G. V. GWAS as a tool for detecting SNPs in cattle to study their relationship to reproduction, productivity, growth, behavior, diseases. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2024;1(8):124–131. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-385-8-124-131>
3. Сермягин А. А., Быкова О. А., Лоретт О. Г., Костюнина А. В., Зиновьева Н. А. Оценка геномной вариативности продуктивных признаков у животных голштинизированной черно-пестрой породы на основе GWAS-анализа и ROH паттернов. Сельскохозяйственная биология. 2020;55(2):257–274.
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257rus> EDN: DTVHLI
Sermiyagin A. A., Bykova O. A., Loretts O. G., Kostyunina A. V., Zinov'yeva N. A. Genomic variability assess for breeding traits in holsteinized Russian black-and-white cattle using GWAS analysis and ROH patterns. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2020;55(2):257–274. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.257rus>

4. Dadousis C., Biffani S., Cipolat-Gotet C., Nicolazzi E. L., Rosa G. J. M., Gianola D. et al. Genome-wide association study for cheese yield and curd nutrient recovery in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(2):1259–1271. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11586>
5. Lu X., Arbab A. A. I., Abdalla I. M., Liu D., Zhang Zh., Xu T. et al. Genetic parameter estimation and genome-wide association study-based loci identification of milk-related traits in Chinese Holstein. *Frontiers in Genetics*. 2022;12:799664. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2021.799664>
6. Korkuć P., Neumann G. B., Hesse D., Arends D., Reißmann M., Rahmatalla S. et al. Whole-genome sequencing data reveal new loci affecting milk production in German Black Pied Cattle (DSN). *Genes*. 2023;14(3):581. DOI: <https://doi.org/10.3390/genes14030581>
7. Liu L., Zhou J., Chen Ch. J., Zhang J., Wen W., Tian J. et al. GWAS-based identification of new loci for milk yield, fat, and protein in Holstein cattle. *Animals*. 2020;10(11):2048. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10112048>
8. Shamsollahi M., Zhang Sh. Genome wide association study associated with milk protein composition. *Animal Science Research*. 2024;34(1):31–44. DOI: <https://doi.org/10.22034/as.2023.54694.1690>
9. Левченко М. В., Гладырь Е. А., Зарипов О. Г., Петрякова Г. К., Лашнева И. А., Карликова Г. Г., Сермягин А. А., Зиновьева Н. А. Полногеномный анализ ассоциаций с технологическими свойствами молока коров голштинской породы. *Молочное и мясное скотоводство*. 2024;(6):3–9. DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.42.72.001> EDN: FQONYJ
10. Levchenko M. V., Gladyr E. A., Zaripov O. G., Petryakova G. K., Lashneva I. A., Karlikova G. G., Sermyagin A. A., Zinovyeva N. A. Whole-genome association studies for cows' milk technological traits in holstein breed. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2024;(6):3–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2024.42.72.001>
11. Citek J., Brzakova M., Hanusova L., Hanuš O., Večerek L., Samková E. et al. Technological properties of cow's milk: correlations with milk composition, effect of interactions of genes and other factors. *Czech Journal of Animal Science*. 2020;65(1):13–22. DOI: <https://doi.org/10.17221/150/2019-CJAS>
12. Tan X., He Zh., Fahey A. G., Zhao G., Liu R., Wen J. Research progress and applications of genome-wide association study in farm animals. *Animal Research and One Health*. 2023;1(1):56–77. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/aro2.14>
13. Bekele R., Taye M., Abebe G., Meseret S. Genomic regions and candidate genes associated with milk production traits in Holstein and its crossbred cattle: a review. *International Journal of Genomics*. 2023;2023(1):1–18. DOI: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1155/2023/8497453>
14. Dadousis C., Pegolo S., Rosa G. J. M., Gianola D., Bittante G., Cecchinato A. Pathway-based genome-wide association analysis of milk coagulation properties, curd firmness, cheese yield, and curd nutrient recovery in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(2):1223–1231. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11587>
15. Marina H., Pelayo R., Suárez-Vega A., Gutiérrez-Gil B., Esteban-Blanco C., Arranz J. J. Genome-wide association studies (GWAS) and post-GWAS analyses for technological traits in Assaf and Churra dairy breeds. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(11):11850–11866. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2021-20510>
16. Pegolo S., Bergamaschi M., Gasperi F., Biasioli F., Cecchinato A., Bittante G. Integrated PTR-ToF-MS, GWAS and biological pathway analyses reveal the contribution of cow's genome to cheese volatilome. *Scientific Reports*. 2018;8:17002. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-35323-5>
17. Sanchez M. P., Ramayo-Caldas Yu., Wolf V., Laithier C., El Jabri M., Michenet A. et al. Sequence-based GWAS, network and pathway analyses reveal genes co-associated with milk cheese-making properties and milk composition in Montbéliarde cows. *Genetics Selection Evolution*. 2019;51:34. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0473-7>
18. Lagresle-Peyrou Ch., Six E. M., Picard C., Rieux-Laucat F., Michel V., Ditadi A. et al. Human adenylate kinase 2 deficiency causes a profound hematopoietic defect associated with sensorineural deafness. *Nature Genetics*. 2009;41:106–111. DOI: <https://doi.org/10.1038/ng.278>
19. Riley D. G., Miller R. K., Nicholson K. L., Gill C. A., Herring A. D., Riggs P. K. et al. Genome association of carcass and palatability traits from Bos indicus-Bos taurus crossbred steers within electrical stimulation status and correspondence with steer temperament. *Livestock Science*. 2019;229:150–158. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2019.09.021>
20. Yan X., Kuang B., Ma Sh., Wang R., Lin J., Zeng Y. et al. NOP14-mediated ribosome biogenesis is required for mTORC2 activation and predicts rapamycin sensitivity. *Journal of Biological Chemistry*. 2024;300(3):105681. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jbc.2024.105681>
21. Zhang L., Ning Y., Li P., Guo H., Zan L. Tissue expression analysis and characterization of SMAD3 promoter in bovine myoblasts and preadipocytes. *DNA and Cell Biology*. 2018;37(6):551–559. DOI: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5985903/>
22. Abo-Ismael M. K., Voort G. V., Squires J. J., Swanson K. C., Mandell I. B., Liao X. et al. Single nucleotide polymorphisms for feed efficiency and performance in crossbred beef cattle. *BMC Genetics*. 2014;15:14. DOI: <http://www.biomedcentral.com/1471-2156/15/14>

22. Chaiprasert T., Armartmuntree N., Techasen A., Sakonsinsiri Ch., Pinlaor S., Ungarreevittaya P. et al. Roles of Zinc Finger Protein 423 in Proliferation and Invasion of Cholangiocarcinoma through Oxidative Stress. *Biomolecules*. 2019;9(7):263. DOI: <https://doi.org/10.3390/biom9070263>

23. Pagani F., Tratta E., Dell'Era P., Cominelli M., Poliani P. L. EBF1 is expressed in pericytes and contributes to pericyte cell commitment. *Histochemistry and Cell Biology*. 2021;156:333–347. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00418-021-02015-7>

Сведения об авторах

✉ **Мария Владимировна Левченко**, научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5674-6694>, e-mail: marikornelaeva@yandex.ru

Галина Геннадьевна Карликова, доктор с.-х. наук, старший научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г.о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9021-1404>

Галина Константиновна Петрякова, программист отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3285-7853>

Ирина Алексеевна Лашнева, кандидат биол. наук, ведущий специалист отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, д. 60, г. о. Подольск, Московская область, Российская Федерация, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0009-4276-8782>

Александр Александрович Сермягин, кандидат с.-х. наук, директор, Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», Московское шоссе, 55а, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

Information about the authors

✉ **Maria V Levchenko**, researcher, the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5674-6694>, e-mail: marikornelaeva@yandex.ru

Galina G Karlikova, DSc in Agricultural Science, senior researcher, the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9021-1404>

Galina K Petryakova, Programmer, the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3285-7853>

Irina A Lashneva, PhD in Biology, leading specialist, the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy village, 60, Podolsk City District, Moscow Region, Russian Federation, 142132, e-mail: priemnaya-vij@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0009-4276-8782>

Alexander A Sermyagin, PhD in Agricultural Science, Director of All-Russian Research Institute of Genetics and Breeding of Farm Animals – Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Moscow Shosse, 55a, Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation, 196601, e-mail: spbvniigen@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1799-6014>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1125-1131>



УДК 636.2:619:615.33

Влияние рекомбинантного колицина E2 на некоторые гериатрические маркеры в крови лактирующих коров в возрасте 5-6 лет

© 2025. М. А. Азямов ✉

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

Увеличение продуктивного долголетия молочных коров остается актуальной проблемой в животноводстве. В связи с этим изучение изменения гериатрических показателей у возрастных коров и оценка препаратов, влияющих на геронтологические процессы, является важной научной и практической задачей. Исследовано влияние рекомбинантного колицина E2 на некоторые гериатрические показатели лактирующих коров в возрасте 5–6 лет за период в восемь месяцев. Были сформированы две группы здоровых лактирующих коров (контрольная и опытная) по восемь голов в каждой. Препарат вводили коровам опытной группы в течение эксперимента внутримышечно в дозе 500 мг два раза в месяц. За период исследования у коров контрольной группы произошло снижение длины теломер лимфоцитов на 40 % и количества мелатонина на 8 %. В крови контрольных животных достоверно повысились количество медиаторов воспаления – простагландина E2 с $86,4 \pm 7,1$ до $124,5 \pm 5,2$ пг/мл ($P < 0,05$) и матриксной металлопротеиназы с $14,8 \pm 0,2$ до $34,2 \pm 0,5$ нг/мл ($P < 0,05$). При применении рекомбинантного колицина E2 у коров опытной группы не выявили снижения длины теломер лимфоцитов. Отмечали увеличение в крови количества интерлейкина 4 и интерферона альфа. Стимуляция рекомбинантным колицином E2 продукции цитокинов интерлейкина 4 и интерферона альфа в крови коров опытной группы регулировала активацию лимфоцитов, имеющих рецепторы к мелатонину. Количество мелатонина в крови коров опытной группы повысилось с $28,6 \pm 0,8$ до $38,5 \pm 1,4$ пг/мл ($P < 0,05$), а количество матриксной металлопротеиназы оставалось стабильным.

Ключевые слова: геронтологические показатели, крупный рогатый скот, матриксные металлопротеиназы, мелатонин, новый препарат, теломеры, цитокины

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0003).

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

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Азямов М. А. Влияние рекомбинантного колицина E2 на некоторые гериатрические маркеры в крови лактирующих коров в возрасте 5-6 лет. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1125–1131. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1125-1131>

Поступила: 28.05.2025

Принята к публикации: 18.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

The effect of recombinant colicin E2 on some geriatric markers in the blood of lactating cows aged 5-6 years

© 2025. Mikhail A. Aziamov ✉

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

The increase of productive longevity of dairy cows is a current problem in the animal breeding. In this regard, the study of changes of geriatric parameters in elderly cows and the evaluation of preparations affecting gerontological processes is an important scientific and practical task. The effect of recombinant colicin E2 on some geriatric parameters of lactating cows aged 5–6 years over a period of eight months has been studied. Two groups of healthy lactating cows (control and experimental) of eight heads each were formed. During the experiment the medicine was introduced to the cows of the experimental group intramuscularly in the dose of 500 mg twice a month. During the experimental period the blood of the control group showed a 40 % decrease in the telomere length of lymphocytes and an 8 % decrease in the amount of melatonin. The amount of inflammatory mediators increased significantly in the blood of control animals - prostaglandin E2 from $86,4 \pm 7,1$ pg/ml to $124,5 \pm 5,2$ pg/ml ($P < 0,05$) and matrix metalloproteinase from $14,8 \pm 0,2$ ng/ml to $34,2 \pm 0,5$ ng/ml ($P < 0,05$). By using the recombinant colicin E2 in cows of the experimental group, no decrease in the telomere length of lymphocytes was detected. Increase in the quantity of interleukin 4 and interferon alpha in the blood was noted. Stimulation of cytokine production of interleukin 4 and interferon alpha by recombinant colicin E2 in the blood of cows of the experimental group regulated the activation of

lymphocytes having receptors to melatonin. The quantity of melatonin in the blood of experimental cows increased from 28.6 ± 0.8 pg/ml to 38.5 ± 1.4 pg/ml ($P < 0.05$), and the quantity of matrix metalloproteinase remained stable.

Keywords: gerontological indicators, cattle, matrix metalloproteinases, melatonin, new preparation, telomeres, cytokines

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0003).

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

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

For citation: Aziamov M. A. The effect of recombinant colicin E2 on some geriatric markers in the blood of lactating cows aged 5-6 years. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(5):1125–1131. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.5.1125-1131>

Received: 28.05.2025

Accepted for publication: 18.10.2025

Published online: 31.10.2025

Продуктивное долголетие молочных коров остается важной проблемой в животноводстве. Высокую продуктивность животные могут сохранять в течение 8-9 лактаций, но в реальности этот период снижен в два раза [1]. В хозяйствах с высокими показателями по молочной продуктивности в нашей стране средний срок производственного использования молочных коров составляет 2,5–3,0 лактации [2]. С началом лактации высокопродуктивные дойные коровы подвергаются метаболическому стрессу, который с возрастом переносится организмом с усилением последствий. Процесс старения приводит к недостаточности физиологических функций и развитию возрастной патологии. Такие физиологические изменения остаются субклиническими до тех пор, пока животное не подвергается нагрузкам, превышающим его функциональные возможности, что изменяет реакцию организма на стресс и способствует развитию заболеваний у возрастных коров.

В настоящее время к основным маркерам старения животных, влияющим на их состояние и гомеостаз, относят длину теломеров ДНК лимфоцитов – нуклеинопротеиновых структур, локализованных на концах хромосом. Теломеры состоят из повторяющихся нуклеотидных последовательностей и набора белков, которые взаимодействуют с ДНК и образуют нуклеинопротеиновый комплекс [3, 4].

Следующим важным маркером, определяемым в крови коров, является гормон эпифиза мелатонин с мощной антиоксидантной и антистрессорной активностью, выступающий в роли регулятора циркадного ритма и адаптогена при различных патологиях. С возрастом животных его продукция снижается, что приводит к дезинхрозу и возникновению заболеваний.

Один из основных показателей гуморального и адаптивного иммунитета в крови коров интерлейкин 4 – ключевой регулятор диффе-

ренцировки Т-хелперов, усиливает пролиферацию Т- и В-лимфоцитов, выполняет функцию медиатора при аллергических процессах, включая продукцию иммуноглобулина Е и усиление эозинофильной трансмиграции при воспалительных процессах. Интерлейкин 4 является защитным противовоспалительным цитокином, который резко снижает вероятность развития аутоиммунных заболеваний у возрастных животных [5].

В развитии патологий репродуктивной, опорно-двигательной, дыхательной систем, а также в возникновении аллергий и аутоиммунных процессов играют роль матриксные металлопротеиназы – цинкосодержащие эндопептидазы, способные гидролизировать белки внеклеточного матрикса с разрушением суставного хряща, вызывать преэклампсию и отслоение плаценты от матки во время родов. Продукцию матриксных металлопротеиназ способны нейтрофилы, лимфоциты, моноциты, фибробласты, некоторые типы эпителиальных клеток. Матриксные металлопротеиназы способны вызвать дисбаланс в широком спектре физиологических реакций, участвовать в ряде аутоиммунных, нейродегенеративных воспалительных и сосудистых патологических процессах. Учитывая патогенетическое значение матриксных металлопротеиназ, исследование их возможных ингибиторов остается важной задачей [6, 7].

В лаборатории ветеринарной иммунологии ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудникова» был разработан рекомбинантный колицин E2 (ТУ 9337-01000008064-01), обладающий антиоксидантными и иммунокорректирующими свойствами [8, 9]. В дальнейшем изучение метаболических и антиоксидантных свойств препарата показало его положительное действие на возрастных животных [10].

Цель исследований – Изучить влияние рекомбинантного колицина E2 на некоторые гериатрические показатели крови лактирующих коров в возрасте 5-6 лет за период в восемь месяцев.

Научная новизна – впервые изучены изменения гериатрических показателей в крови возрастных лактирующих коров за длительный период времени. Получены новые экспериментальные данные по изменению длины теломер лимфоцитов CD4⁺, количества цитокинов интерлейкина 4 и интерферона альфа, простагландина E2, мелатонина и матриксной металлопротеиназы 3 в крови возрастных лактирующих коров при применении рекомбинантного колицина E2 за период 243 дня.

Материал и методы. Изучение гериатрического действия рекомбинантного колицина E2 проводили на здоровых лактирующих черно-пёстрых голштинизированных коровах в возрасте 5-6 лет. Коровы находились в первой половине лактации. Были сформированы две группы животных по восемь голов в каждой.

Коров первой (контрольной) группы не подвергали манипуляциям. Коровам второй (опытной) группы внутримышечно вводили раствор рекомбинантного колицина E2 (RecColE2) в дозе 5,0 см³ (500 мг) два раза в месяц (5-го и 20-го числа каждого месяца) с интервалом в 15 суток в течение восьми месяцев.

У животных обеих групп брали кровь на исследование на первые и 243-и сутки для анализа некоторых гериатрических маркеров в крови.

Длину теломер лимфоцитов CD4⁺ периферической крови в качестве маркера процесса старения и физиологического состояния организма определяли методом Flow-fish гибридизации *in situ* с анализом на проточном цитофлуориметре Facs Calibur (Becton Dickinson) [11]. Количество цитокинов интерлейкина 4 (IL-4), интерферона альфа (IF-α) и простагландина E2 (PG E2), иммуноглобулина G (IgG), мелатонина, матриксной металлопротеиназы 3 (MMP-3) определяли методом иммуноферментного анализа (ИФА) диагностикумами Clon Cloud Co (США) и Cusabio Biotech Co (Китай) на иммуноферментном анализаторе Zenyth (Athos).

Статистическая обработка данных выполнена стандартными методами в программе Statistica-5,0¹.

Результаты и их обсуждение. Результаты исследований влияния RecColE2 на некоторые гериатрические маркеры лактирующих голштинизированных коров в возрасте 5-6 лет представлены в таблице.

Как видно из данных таблицы при исследовании длины теломер лимфоцитов CD4⁺ в периферической крови возрастных коров по окончании опыта установлено укорочение длины теломер в первой (контрольной) группе с 58,2±4,16 до 34,4±5,32 тыс. п. н. (тысяч пар нуклеотидов) (P<0,05) за период 243 дня. Во второй (опытной) группе не отмечали снижения длины теломер. Теломеры крупного рогатого скота, как и у других видов позвоночных, представляют собой специализированные концевые структуры хромосом, состоящие из tandemных повторов TTAGGG и функционирующих для защиты хромосом от слияния, рекомбинации и деградации. Укорочение теломер инициировало процесс апоптоза клеток и было связано с сокращением продолжительности жизни и ухудшением состояния здоровья организма [12, 13]. Снижение длины теломер лимфоцитов CD4⁺ у животных контрольной группы отражало уровень возрастной иммуносупрессии, уменьшение пролиферативной и фагоцитарной активности Т-хелперов в периферической крови.

В контрольной группе возрастных лактирующих коров отмечено значительное повышение PG E2 в крови с 86,4±7,1 до 124,5±5,2 пг/мл (P<0,05). PG E2 – основной медиатор воспалительного ответа, влияющий на усиление отёков, лейкоцитарной инфильтрации, бронхострикции, тромбообразования и ингибирование глицинергической нейротрансмиссии спинного мозга [14]. Повышение количества PG E2 в крови коров контрольной группы объясняется стрессом на фоне высокой молочной продуктивности и возрастной депрессии, которые вызывают активацию перекисного окисления липидов и снижение антиоксидантной защиты организма. В опытной группе коров количество PG E2 в крови за указанный период исследований не изменилось, что подтверждает отсутствие бессимптомных признаков эндотоксикоза и воспалительных процессов, ввиду положительного метаболического и антиоксидантного действия RecColE2.

¹Реброва О. Ю. Статистический анализ медицинских данных. Применение пакета прикладных программ STATISTICA. М.: МедиаСфера, 2002. 312 с.

Таблица – Влияние RecColE2 на некоторые гериатрические маркеры коров в возрасте 5–6 лет (n = 8) /
Table – The effect of RecColE2 on some geriatric markers of cows aged 5–6 years (n = 8)

Показатель / Indicator	Первые сутки исследования / The 1st day of the research		243-и сутки исследования / The 243 rd day of the research	
	I группа (контрольная) / I group (control)	II группа (опытная) / II group (experimental)	I группа (контрольная) / I group (control)	II группа (опытная) / после применения RecColE2 / II group (experimental) After the use of RecColE2
Длина теломер в лимфоцитах CD4+, тыс. п. н. / Telomere length in lymphocytes, thousand p. n.	58,2±4,16	56,7±2,45	34,4±5,32*	57,2±3,24
Простагландин E2, пг/мл / Prostaglandin E2, pg/ml	86,4±7,1	85,8±9,1	124,5±5,2*	86,2±4,1
Интерферон альфа, пг/мл / Interferonum alpha, pg/ml	8,9±0,1	8,6±0,8	8,7±0,3	22,5±0,3*
Интерлейкин 4, пг/мл / Interleukin 4, pg/ml	54,2±0,6	52,8±0,4	52,2±0,2	116,5±2,4*
Иммуноглобулин G, мг/мл / Immunoglobulin G, mg/ml	25,92±0,35	22,45±0,24	23,85±0,48	24,95±0,64
Мелатонин, пг/мл / Melatonin, pg/ml	32,4±1,2	28,6±0,8	29,8±1,4	38,5±1,4*
Матриксная металло- протеиназа 3, нг/мл / Matrix metallo proteinase 3, ng/ml	14,8±0,2	16,4±0,4	34,2±0,5*	16,2±0,2

Примечания: животным опытной группы внутримышечно вводили раствор рекомбинантного колицина E2 (RecColE2) в дозе 5,0 см³ (500 мг) два раза в месяц с интервалом в 15 суток в течение восьми месяцев; * P<0,05 – на 243-и сутки по сравнению с первыми суткам исследования /

Notes: Cows of the experimental group were given the solution of recombinant colicin E2 (RecColE2) intramuscularly in the dose of 5.0 cm³ (500 mg) twice a month at 15 days intervals during 8 months; * P<0.05 – on the 243rd day of the research in comparison with the 1st day of the research

Исходя из данных таблицы можно отметить повышение в крови коров второй (опытной) группы количества IF-α с 8,6±0,8 до 22,5±0,3 пг/мл (P<0,05) на 243-и сутки исследования, что подтверждается отсутствием активной репликации вирусов в организме и проявлений аутоиммунных патологий, что характерно для возрастных животных. Известно, что колицины, в том числе RecColE2, запускают сигнальный каскад продукции цитокинов через толл-подобные рецепторы с одним трансмембранным фрагментом и активируют клеточный иммунный ответ [15]. Лейкоцитарный IF-α, взаимодействующий с RecColE2 через толл-сигнальную систему транслокации, активирует популяции Т-киллеров, NK-клеток и подавляет пролиферацию поврежденных клеток в организме, усиливая их апоптоз. В контрольной группе коров за указанный период времени не произошло увеличения в крови лейкоцитарного IF-α (табл.).

По окончании опыта в крови экспериментальных коров второй (опытной) группы констатировали достоверное повышение количества ИЛ-4 – ключевого регулятора гуморального иммунитета с 52,8±0,4 до 116,5±2,4 пг/мл. (P<0,05). ИЛ-4 индуцирует дифференцировку Т-хелперов, активирует пролиферацию Т- и В-лимфоцитов, выполняет функцию медиатора при аллергических заболеваниях, включая подавление продукции иммуноглобулина Е и усиление эозинофильной трансмиграции при воспалительных процессах. Повышение количества ИЛ-4 в крови коров контрольной группы не отмечено.

При определении количества IgG в крови коров контрольной и опытной групп за период 243 дня изменений не выявили (табл.). IgG – основной тип антител гуморального иммунитета, содержащийся в крови и отвечающий за защиту от патогенной микрофлоры и предотвращающий анафилактику. У коров обеих групп

за восемь месяцев не диагностировали инфекционных и аллергических заболеваний, о чем свидетельствует стабильное количество IgG в крови. RecColE2 не повлиял на уровень IgG в крови у здоровых лактирующих коров в возрасте 5–6 лет.

В контрольной группе возрастных коров по окончании опыта выявлено снижение количества мелатонина в крови на 8 % (табл.). У животных опытной группы констатировали повышение количества мелатонина в крови, что свидетельствует о нормальной регуляции секреции гормонов в организме, репродуктивной активности и отсутствии нарушений циркадных ритмов. Мелатонин, как нейротрансмиттер, участвует в межклеточных взаимодействиях, снижает ишемические процессы в тканях и органах. Кроме того, мелатонин способен изменять метаболический фенотип клеток в организме животных. Мелатонин, как гликолитический гормон, преобразует больные клетки в более здоровые, то есть молекулы, называемые гликолитиками, подавляют аэробный гликолиз и превращают фенотип клеток в более устойчивый [16].

Анализ количественного определения ММР-3 в крови возрастных коров контрольной группы в начале и конце опыта выявил достоверное увеличение ММР-3 с $14,8 \pm 0,2$ до $34,2 \pm 0,5$ нг/мл, в опытной группе животных увеличения ММР-3 не наблюдали (табл.). ММР-3 является цинкосодержащими протеиназами, способными разрушать компоненты внеклеточного матрикса или базальной мембран. Эта способность вызывает миграцию лейкоцитов из кровяного русла в очаг воспаления. ММР-3 находится в третичных гранулах нейтрофилов крупного рогатого скота и высвобождается при дегрануляции нейтрофилов, вызванной химическими раздражителями или микробными антигенами. Увеличение количества ММР-3 в крови крупного рогатого скота могло произойти после переболевания инфек-

ционными респираторными заболеваниями, ввиду высокой поствакцинальной антигенной нагрузки, аутоиммунных патологий и аллергического синдрома, а также при патологической задержке плодных оболочек после родов. Увеличение количества ММР-3 в крови возрастных лактирующих коров контрольной группы указывало на наличие аутоиммунных и скрытых воспалительных возрастных процессов, которые возникли за 243-дневный период. При применении инъекционного курса RecColE2 у коров опытной группы по окончании эксперимента количество ММР-3 в крови стабилизировалось.

Заключение. Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что у лактирующих коров контрольной группы на 243-й день отмечали снижение длины теломер лимфоцитов $CD4^+$ на 40 %, количества мелатонина в крови на 8 %. В крови контрольных животных за период эксперимента достоверно повысились медиаторы воспаления PG E2 с $86,4 \pm 7,1$ до $124,5 \pm 5,2$ пг/мл ($P < 0,05$) и ММР-3 – с $14,8 \pm 0,2$ до $34,2 \pm 0,5$ нг/мл ($P < 0,05$), количество IgG, цитокинов $IL-4$ и $IL-6$ в крови коров за период опыта не изменилось.

В опытной группе при применении RecColE2 у лактирующих возрастных коров за период исследования не выявили снижения длины теломер $CD4^+$ лимфоцитов. Отмечено увеличение количества противовоспалительного цитокина $IL-4$ и лейкоцитарного интерферона $IL-6$ в крови экспериментальных животных. Стимуляция RecColE2 продукции цитокинов $IL-4$ и $IL-6$ в крови коров опытной группы регулировала активацию лимфоцитов, имеющих рецепторы к мелатонину. Мелатонин в крови коров опытной группы повысился с $28,6 \pm 0,8$ до $38,5 \pm 1,4$ пг/мл ($P < 0,05$). Курсовое применение RecColE2 коровам опытной группы вызвало стабилизацию ММР-3 в крови животных по истечении срока исследования.

Список литературы

1. Шуварин М. В., Савруков Н. Т. Некоторые экономические аспекты повышения продуктивности и срока использования молочных коров. Азимут научных исследований: экономика и управление. 2019;8(1):406–409. DOI: <https://doi.org/10.26140/anie-2019-0801-0097> EDN: ZBIZIT
2. Попов Н. А. Совершенствование молочности скота с использованием генетических параметров. М., 2024. 484 с.
3. Юдин Н. С., Ларкин Д. М. Происхождение, селекция и адаптация российских пород крупного рогатого скота по данным полногеномных исследований. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2019;23(5):559–568. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.525> EDN: YITSZJ

4. Игнатъева Е. В., Юдин Н. С., Ларкин Д. М. Компиляция и функциональная классификация генов, ассоциированных с длиной теломер, у человека и других видов животных. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2023;27(3):283–292. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-34> EDN: VYAFLO
5. Castellano F., Prevost-Blondel A., Cohen J. L., Molinier-Frenkel V. What role for AHR activation in IL4-mediated immunosuppression. Oncoimmunology. 2021;10(1):1924500. DOI: <https://doi.org/10.1080/2162402X.2021.1924500>
6. Приходько С. А., Шаронов Д. С., Великородная Ю. И., Антонов В. А. Распределение металлопротеиназ 1 и 9 в плаценте коров при физиологической и осложненной преэклампсией беременности. Эпоха науки. 2021;(25):41–46. DOI: <https://doi.org/10.24412/2409-3203-2021-25-41-46> EDN: ETAUVU
7. Григоркевич О. С., Мокров Г. В., Косова Л. Ю. Матриксные металлопротеиназы и их ингибиторы. Фармакокинетика и фармакодинамика. 2019;(2):3–16. DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-7836-2019-10040> EDN: BPRQTK
8. Азямов М. А. Штамм бактерий *B. subtilis* pbColE2 – продуцент гибридного колицина E2, используемый для получения ветеринарного препарата: пат. №2188233 Российская Федерация. № 2000127330/13: заяв. 30.10.2000; опубли. 27.08.2002. Бюл. № 24. 7 с.
Режим доступа: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002188233_20020827_C2_RU/
9. Азямов М. А., Тихонов И. В., Девришов Д. А. Получение гибридного колицина E2. Ветеринарная медицина. 2002;(1):13. Режим доступа: <http://www.veterinarymedicine.ru/num1-2002.html>
10. Русаков Р. В., Тяпугин Е. А. Чем старше корова, тем нужней ей колицин E2. Животноводство России. 2002;(4):32–33.
11. Борисов В. И., Кожевников В. С. Способ одномоментного определения длины теломер и количества делений популяции пролиферирующих клеток *in vitro*: пат. № 2443777 Российская Федерация. № 2010111327/10: заяв. 24.03.2010; опубли. 27.02.2012. Бюл. № 6. 7 с.
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37761076> EDN: OKBORE
12. Aviv A., Shay J. W. Reflections on telomere dynamics and ageing-related diseases in humans. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences. 2018;373:20160436. DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0436>
13. Muñoz-Lorente M. A., Cano-Martin A. C., Blasco M. A. Mice with hyper-long telomeres show less metabolic aging and longer lifespans. Nature Communications. 2019;10:4723. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12664-x>
14. Chen J., Deng J. C., Zemans R. L., Bahmed K., Kosmider B., Zhang M. et al. Age-induced prostaglandin E₂ impairs mitochondrial fitness and increases mortality to influenza infection. Nature Communications. 2022;13:6759. DOI: <https://doi.org/10.1038/S41467-022-34593-Y>
15. Hatton N. E., Wilson L. G., Baumann Ch. G., Fascione M. A. Synthesis of colicin Ia neoglycoproteins: tools towards glyco-engineering of bacterial cell surfaces. RSC Advances. 2024;14:29106–29112. DOI: <https://doi.org/10.1039/D4RA04774E>
16. Reiter R., Sharma R., Rosales-Corral S. Anti-Warburg Effect of Melatonin: A Proposed Mechanism to Explain its Inhibition of Multiple Diseases. International Journal of Molecular Sciences. 2021;22(2):764. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22020764>

References

1. Shuvarin M. V., Savrukov N. T. Some economic aspects of increasing period of use dairy cows. *Azimut nauchnykh issledovaniy: ekonomika i upravlenie* = Azimuth of scientific research: economics and administration. 2019;8(1):406–409. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26140/anie-2019-0801-0097>
2. Popov N. A. Improvement of dairy production of livestock using genetic parameters. Moscow, 2024. 484 p.
3. Yudin N. S., Larkin D. M. Whole genome studies of origin, selection and adaptation of the Russian cattle breeds. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2019;23(5):559–568. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ19.525>
4. Ignatieva E. V., Yudin N. S., Larkin D. M. Compilation and functional classification of telomere length-associated genes in humans and other animal species. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = Vavilov Journal of Genetics and Breeding. 2023;27(3):283–292. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJGB-23-34>
5. Castellano F., Prevost-Blondel A., Cohen J. L., Molinier-Frenkel V. What role for AHR activation in IL4-mediated immunosuppression. Oncoimmunology. 2021;10(1):1924500. DOI: <https://doi.org/10.1080/2162402X.2021.1924500>
6. Prikhodko S. A., Sharonov D. S., Velikorodnaya Yu. I., Antonov V. A. Distribution of metalloproteinases 1 and 9 in the placenta of cows during physiological and complicated preeclampsia of pregnancy. *Epokha nauki*. 2021;(25):41–46. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2409-3203-2021-25-41-46>
7. Grigorkevich O. S., Mokrov G. V., Kosova L. Yu. Matrix metalloproteinases and their inhibitors. *Farmakokinetika i farmakodinamika* = Pharmacokinetics and Pharmacodynamics. 2019;(2):3–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2587-7836-2019-10040>

8. Azyamov M. A. The bacterial strain *B. subtilis* pbColE2 is a producer of hybrid colicin E2, used to produce a veterinary drug: Patent RF, no. 2188233, 2002.
URL: https://rusneb.ru/catalog/000224_000128_0002188233_20020827_C2_RU/
9. Azyamov M. A., Tikhonov I. V., Devrishov D. A. Production of hybrid colicin E2. *Veterinarnaya meditsina*. 2002;(1):13. (In Russ.). URL: <http://www.veterinarymedicine.ru/num1-2002.html>
10. Rusakov R. V., Tyapugin E. A. The older the cow, the more colicin E2 it needs. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2002;(4):32-33. (In Russ.).
11. Borisov V. I., Kozhevnikov V. S. Method of single-step telomere length and population division quantity measurement of proliferative cells *in vitro*: Patent RF, no. 2443777, 2012.
URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37761076>
12. Aviv A., Shay J. W. Reflections on telomere dynamics and ageing-related diseases in humans. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 2018;373:20160436.
DOI: <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0436>
13. Muñoz-Lorente M. A., Cano-Martin A. C., Blasco M. A. Mice with hyper-long telomeres show less metabolic aging and longer lifespans. *Nature Communications*. 2019;10:4723.
DOI: <https://doi.org/10.1038/s41467-019-12664-x>
14. Chen J., Deng J. C., Zemans R. L., Bahmed K., Kosmider B., Zhang M. et al. Age-induced prostaglandin E₂ impairs mitochondrial fitness and increases mortality to influenza infection. *Nature Communications*. 2022;13:6759. DOI: <https://doi.org/10.1038/S41467-022-34593-Y>
15. Hatton N. E., Wilson L. G., Baumann Ch. G., Fascione M. A. Synthesis of colicin Ia neoglycoproteins: tools towards glyco-engineering of bacterial cell surfaces. *RSC Advances*. 2024;14:29106–29112.
DOI: <https://doi.org/10.1039/D4RA04774E>
16. Reiter R., Sharma R., Rosales-Corral S. Anti-Warburg Effect of Melatonin: A Proposed Mechanism to Explain its Inhibition of Multiple Diseases. *International Journal of Molecular Sciences*. 2021;22(2):764.
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms22020764>

Сведения об авторе

✉ **Азямов Михаил Андреевич**, кандидат вет. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5718-9463>, e-mail: lazermikl@yandex.ru

Information about the author

✉ **Mikhail A. Aziamov**, PhD in Veterinary Science, leading researcher, Federal Agricultural Research Center of the North -East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5718-9463>, e-mail: lazermikl@yandex.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗВЕРОВОДСТВО. ОХОТОВЕДЕНИЕ/
FUR FARMING AND HUNTING<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1132-1141>

УДК 639.125.2

Ресурсы тетерева и их использование в Кировской области© 2025. Б. Е. Зарубин¹, **В. В. Колесников¹**, А. В. Экономов¹, А. В. Козлова¹, В. В. Степанов¹, М. А. Перевозчикова¹✉, А. Ю. Просеков², Е.А. Вечтомова²¹ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», г. Киров, Российская Федерация²ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», г. Кемерово, Российская Федерация

Тетерев Tetrao tetrix (L., 1758) – наземно-древесный вид семейства фазановых, населяющий умеренные широты северного полушария. Космополитное распространение вида охватывает лесотундровую, таежную, лесостепную и отчасти степную зоны Европы и Азии от Альпийских гор до бассейна Амура. В Западной Европе современное распространение тетерева отличается мозаичностью, тренд динамики большинства популяций отрицательный. Использование ресурсов вида ограничено. На территории России и Кировской области, в частности, это один из наиболее значимых и массовых видов охотничьих ресурсов. В нашей работе на примере Кировской области рассмотрены вопросы динамики ресурсов, даны оценки уровня использования поголовья вида. Современная численность птиц на территории региона по разным оценкам составляет 362,9–440,7 тыс. особей. Официальная добыча вида в регионе составляет 6217 особей. Альтернативные методы оценки свидетельствуют о ежегодной добыче приблизительно 58,5 тыс. особей. Соотношение объемов добычи по сезонам сходно. В настоящее время предоставление услуг по организации охоты на тетерева в регионе носит единичный характер. Определены виды продукции, получаемые в результате эксплуатации популяции птиц на территории субъекта. Продукция охоты включает в себя пищевое сырье (мясо), а также дериваты, которые используются для таксидермических изделий и сувенирной продукции. В работе оценены объемы каждого из получаемых видов продукции, проведен перерасчет в денежном эквиваленте.

Ключевые слова: охота, мясная продукция, охота как товар, таксидермическая продукция**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (тема № FNWS-2025-0001).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Зарубин Б. Е., **Колесников В. В.**, Экономов А. В., Козлова А. В., Степанов В. В., Перевозчикова М. А., Просеков А. Ю., Вечтомова Е. А. Ресурсы тетерева и их использование в Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1132–1141. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1132-1141>

Поступила: 21.04.2025

Принята к публикации: 18.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Black grouse resources and their use in the Kirov region, Russia© 2025. Boris E. Zarubin¹, **Vyacheslav V. Kolesnikov¹**, Aleksandr V. Ekonomov¹, Anna V. Kozlova¹, Valery V. Stepanov¹, Maria A. Perevozchikova¹✉, Aleksandr Yu. Prosekov², Elena A. Vechtomova²¹Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russian Federation,²Kemerovo State University, Kemerovo, Russian Federation

The black grouse (Tetrao tetrix L., 1758) is a terrestrial and arboreal species of the pheasant family, inhabiting the temperate latitudes of the northern hemisphere. The cosmopolitan range covers the forest-tundra, taiga, forest-steppe and partly steppe zones of Europe and Asia from the Alps to the Amur basin. In Western Europe, the modern distribution of the black grouse is mosaic, the trend of the dynamics of most populations is negative. The use of the species' resources is limited. In Russia, including the Kirov region, the black grouse is one of the most significant and widespread species of hunting resources. The problems of resource dynamics and the estimation of the species stock use level are considered in the research on the example of the Kirov region. The current bird population in the region, according to various estimates,

is 362.9–440.7 thousand individuals. The official hunting bag of the species in the region is at the level of 6217 individuals. Alternative estimation methods indicate an annual bag of approximately 58.5 thousand individuals. The ratio of bag volumes by seasons is similar. Currently, the provision of services for organizing black grouse hunting in the region is sporadic. The products obtained as a result of using the black grouse population in the region are determined. Hunting products include food raw materials (meat), as well as derivatives that are used for taxidermy products and souvenirs. During the research the volumes of each type of product received have been estimated and recalculated in monetary terms.

Keywords: hunting, meat products, hunting as a commodity, taxidermy products

Acknowledgments: the work 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 Research Institute of Game Management and Fur Farming (theme No. FNWS-2025-0001).

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: Zarubin B. E., Kolesnikov V. V., Ekonomov A. V., Kozlova A. V., Stepanov V. V., Perevozchikova M. A., Prosekov A. Yu., Vechtomova E. A. Black grouse resources and their use in the Kirov region, Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1132–1141. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1132-1141>

Received: 21.04.2025

Accepted for publication: 18.10.2025

Published online: 31.10.2025

Тетерев *Tetrao tetrix* (L., 1758) – представитель семейства фазановых (Phasianidae), наземно-древесный вид, населяющий умеренные широты северного полушария. Космополитное распространение вида охватывает лесотундровую, таежную, лесостепную и отчасти степную зоны Европы и Азии от Альпийских гор до бассейна Амура [1, 2, 3].

В Западной Европе современное распространение тетерева отличается мозаичностью, тренд динамики большинства популяций отрицательный [4, 5, 6, 7]. Использование ресурсов вида ограничено [8].

В России тетерев – типичный охотничий вид. По последним оценкам, ресурсы птицы в стране составляют 10680 тысяч особей, современная добыча которой оценивается в 80884 особей [9].

В Кировской области тетерев является важным охотничьим ресурсом. Охота на птиц – одна из наиболее популярных в регионе. Значимость тетерева, как объекта охоты, высока как со стороны охотпользователей, так и охотников.

Ввиду широкого распространения тетерева и эстетической составляющей процесса охоты, вид привлекателен для внутреннего, а ранее и для въездного туризма [10].

По Приволжскому федеральному округу (ПФО) популярность тетерева среди других объектов охоты находится на 7-ом месте, по Российской Федерации (РФ) – на 8-ом месте. В рейтинге хозяйственной значимости из 47 видов и 5 групп видов охотничьих ресурсов

по РФ и ПФО тетерев занимает 11-е место, по Кировской области – 8-е место [11].

Продукция охоты включает в себя пищевое сырье, а также другие дериваты, которые используются для таксидермических изделий и сувенирной продукции [12].

Цель исследований – оценить численность и использование ресурсов тетерева в Кировской области. Для ее решения ставились следующие задачи:

1. Определить численность и добычу тетерева.
2. Провести анализ услуг по организации охоты.
3. Выявить объем, некоторые параметры мясной продукции и сырья для таксидермических изделий.

Научная новизна – впервые в масштабах региона произведена оценка выхода и размеров производства мясной продукции вида.

Материал и методы. Оценка численности ресурсов тетерева опирается на данные Службы «урожая» ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова» (далее – Служба «урожая» ВНИИОЗ) и сведения государственного мониторинга¹ [13].

Объемы добычи определены по данным государственного мониторинга¹. Дополнительно использован метод анонимного опроса охотников (n = 216) региона о добыче тетерева в весенний и летне-осенне-зимний сезон в 2015–2017 гг.

¹Региональные доклады «О состоянии окружающей среды Кировской области в 2000–2021 гг.». [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/doklad.php> (дата обращения: 10.04.2025).

Мясная продуктивность определена путем измерения массы птиц, добытых в центральной части Кировской области, в весенний (n = 66) и летне-осенне-зимний (n = 70) периоды. Взвешивание осуществляли с помощью электронных весов с точностью до 5 г.

Стоимостная оценка мясной продукции рассчитана на основе информации с электронного ресурса компании «Дикоед»².

Информация по охотничьему туризму собрана на основе анализа деятельности с электронного ресурса Gethunt за 2023 год³.

Объемы использования сырья, популярность таксидермических изделий, стоимость готовой продукции определены на основе опроса специализированных мастерских (n = 11).

Статистический анализ проводили с использованием программного обеспечения

MS Excel (Office 2019) и Statgraphics (19-X64) общепринятыми методами⁴.

Результаты и их обсуждение. Ресурсы тетерева. С середины XX века по настоящее время имеется два источника информации о численности охотничьих животных в РФ. Первый – основан на данных зимнего маршрутного учета, считается официальным и используется в региональных докладах и информационно-аналитических материалах ФГБУ «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства», а также в отчетных материалах региональных структур Министерства охраны окружающей среды⁵. Второй – на данных Службы «урожая» ВНИИОЗ по результатам регулярных анкетных опросов охоткорреспондентов (рис. 1).

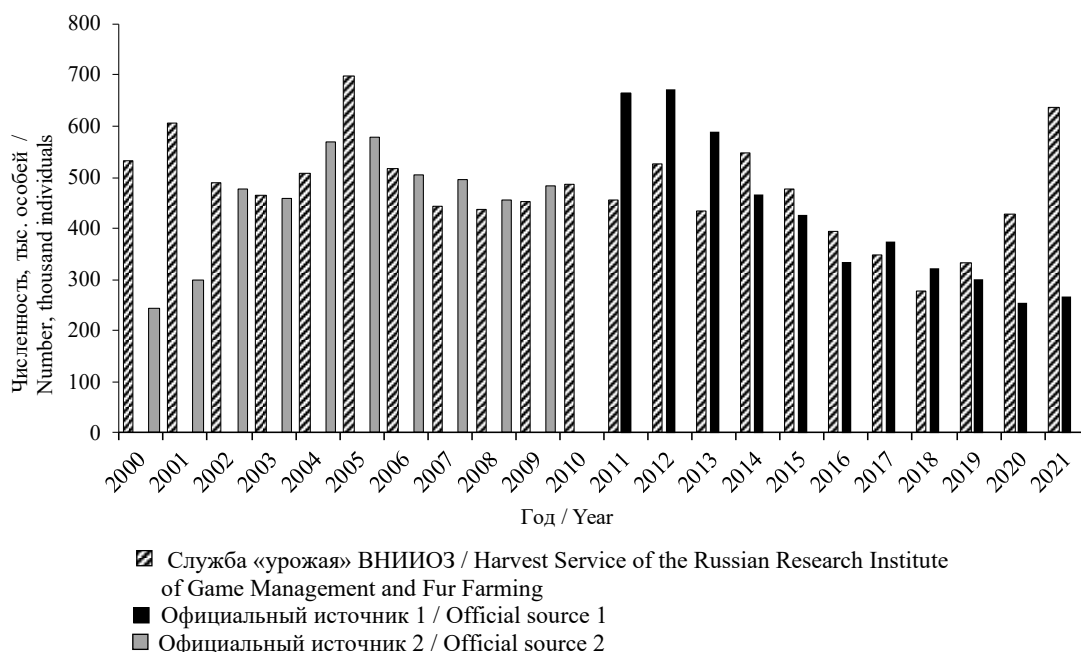


Рис. 1. Численность тетерева в Кировской области по данным: Службы «урожая» ВНИИОЗ; официального источника 1 – Региональные доклады «О состоянии окружающей среды Кировской области» за 2011, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020 гг.⁶; официального источника 2 – ФГБУ «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства»⁷ /

Fig. 1. The number of black grouse in the Kirov region according: Harvest Service of the Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming; official source 1 – Regional reports "On the state of the environment of the Kirov region" for 2011, 2013, 2015, 2016, 2018, 2020⁶; official source 2 – Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management⁷

²Дикоед, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://dikoed.ru/?ysclid=lwyyb3nd9s460561820> (дата обращения: 10.03.2024).

³Gethunt: успешные охоты. 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://gethunt.ru/> (дата обращения: 10.03.2024).

⁴Ивантер Э. В., Коросов А. В. Элементарная биометрия. Петрозаводск: ПетрГУ, 2005. 104 с.

⁵ФГБУ «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства»: официальный сайт, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ohotcontrol.ru/company/?ysclid=lwyx3f5guy477897108> (дата обращения: 20.03.2024).

⁶URL: <https://www.kirovreg.ru/econom/ecology/doklad.php>

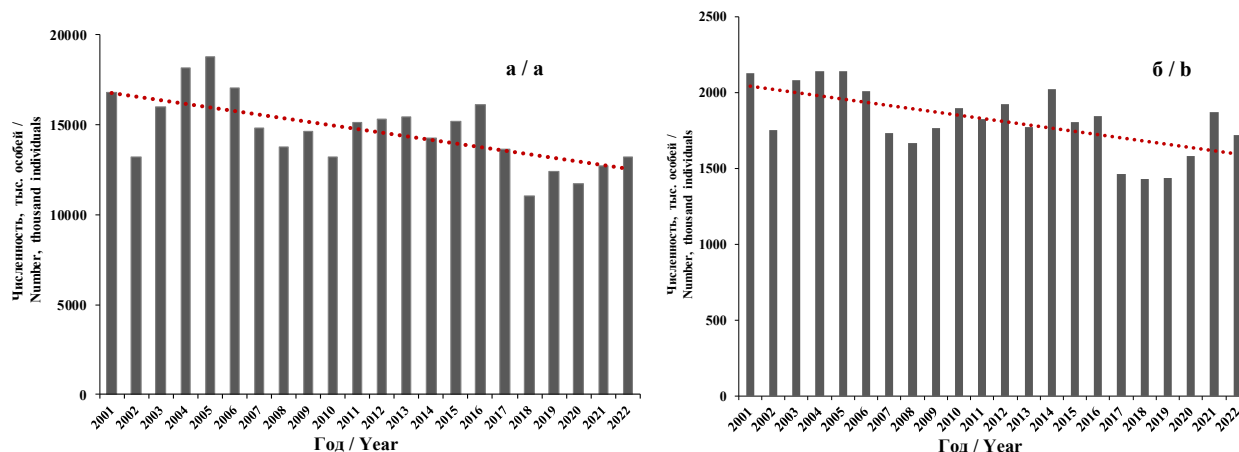
⁷URL: <http://www.ohotcontrol.ru/company/?ysclid=lwyx3f5guy477897108>

Существенны расхождения в оценках численности (до 200 %) между официальной информацией государственного мониторинга и данными Службы «урожая» ВНИИОЗ. Общее в подходах оценки лишь тренды динамики ресурсов.

В 2022 г. по ресурсам тетерева Кировская область заняла 12 место в РФ, уступив Красноярскому краю, Архангельской области, Республике Коми, Ханты-Мансийскому автономному округу, Иркутской, Тюменской,

Томской областям, Пермскому краю, Омской области, республикам Якутия и Карелия. В ПФО по ресурсам тетерева Кировская область занимает второе место после Пермского края, а суммарные запасы ресурсов в этих регионах составляют 52 % от всего федерального округа [14].

По данным Службы «урожая» ВНИИОЗ, численность тетерева в начале XXI века неуклонно сокращалась как в Кировской области, так и в ПФО, и России в целом [14, 15] (рис. 2).



**Рис. 2. Ресурсы тетерева: а – Российская Федерация, б – Приволжский федеральный округ /
Fig. 2. Black grouse resources: a – Russian Federation, b – Privolzhsky Federal District**

Тенденция к сокращению ресурсов тетерева прослеживается также в Западной Европе и Скандинавии. На этих территориях ключевые причины отрицательной динамики ресурсов связаны с фрагментацией лесов, сокращением свойственных виду мест обитания, высокой смертностью кладок, гибелью птиц от наземных и пернатых хищников, антропогенным воздействием [5, 6, 7].

Объем добычи. Определение объема фактической добычи – одна из сложнейших задач исследования, так как из-за множества факторов он серьезно отличается от официальной информации. Официальный размер добычи тетерева в Кировской области представлен на рисунке 3.

Оценка объемов добычи, полученная путем проведения анонимных анкетных опросов среди охотников в Кировской области Службой «урожая» ВНИИОЗ в 2015–2017 гг., имеет практически десятикратные различия. Так, по данным государственного мониторинга, в Кировской области добыча тетерева в охотничьем сезоне 2015-2016 гг. составила 6212 особей, а результаты опроса – 58488 (12655

особей в весенний сезон охоты и 45833 особей в летне-осенне-зимний сезон) [16]. Однако соотношения по сезонам имеют схожие оценки.

С середины XX века Служба «урожая» ВНИИОЗ ведет оценку среднего размера добычи за год на одного охотника, где просматривается тенденция снижения не только общего объема добычи, но и добычи тетерева на одного охотника (рис. 4).

В 1956-1957 гг. средний размер добычи на одного охотника оценивался в 14,9 особей, в 1966-1967 гг. – 10,8 особей. Спустя 20 лет, в 1976-1977 гг., размер добычи одного охотника сократился до 7,8 особей. Тенденция снижения размера добычи тетерева на одного охотника отмечалась до второй половины 80-х годов прошлого столетия. В 1986-1987 гг. размер добычи одного охотника составил 3,10 особей. Во второй половине 90-х годов XX века (1996-1997 гг.) средний размер добычи незначительно возрос в сравнении с прошлым десятилетием и составил 3,89 особей.

К 2006-2007 гг. размер добычи одного охотника по сравнению со второй половиной 50-х годов сократился в 5,6 раза (2,65 против

14,9 особей). В конце второго десятилетия XXI века наметилась положительная тенденция в оценках средней добычи тетерева на одного охотника – 3,75 особей [14].

В Западной и Центральной Европе на фоне мозаичности распространения вида,

высокой антропогенной нагрузки сокращение ресурсов тетерева идет в бóльшем темпе. В связи с этим охота на птиц носит локальный характер. Добыча вида немногочисленна, а местами единична и на значительных территориях осуществляется не каждый год [8].

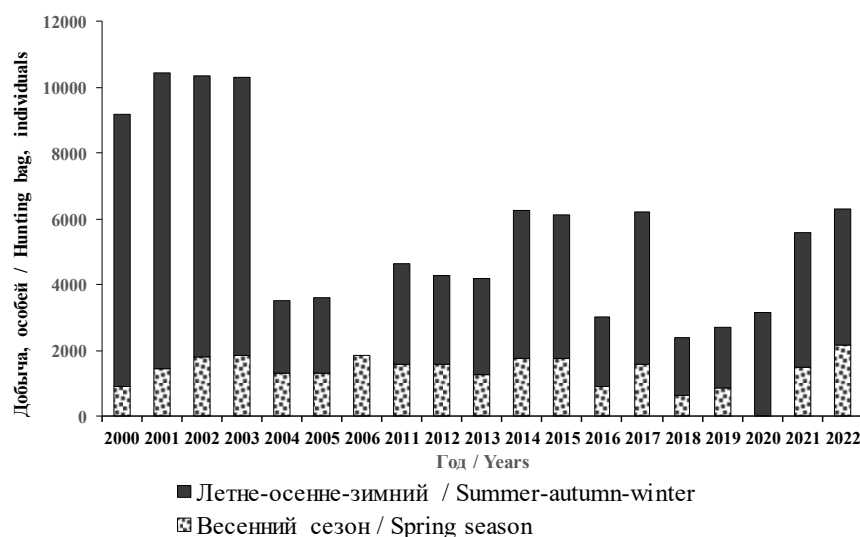


Рис. 3. Добыча тетерева в Кировской области по данным ФГБУ «Федеральный научно-исследовательский центр развития охотничьего хозяйства»⁸ и Министерства охраны окружающей среды Кировской области, особей⁹

Fig. 3 Hunting bag of black grouse in Kirov region according to the Federal State Budgetary Institution Federal Research Center for Development of Game Management⁸ and the Ministry of Environmental Protection of Kirov region, individuals⁹

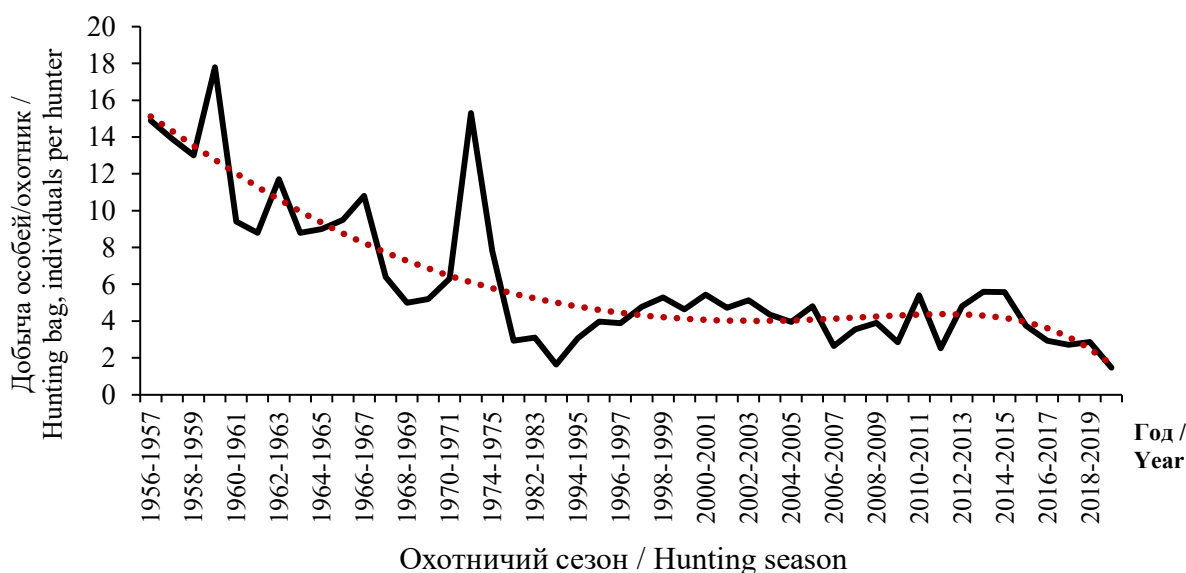


Рис. 4. Средний годовой размер добычи тетерева на одного охотника из числа добывавших в Кировской области

Fig. 4. Average annual hunting bag of black grouse per hunter in the Kirov region

⁸URL: <http://www.ohotcontrol.ru/company/?ysclid=lwyx3f5guy477897108>

⁹Управление охраны и использования животного мира министерства охраны окружающей среды Кировской области. Министерство охраны окружающей среды Кировской области: официальный сайт. [Электронный ресурс]. URL: <https://ohotnadzor.kirovreg.ru/activities/public-consultations-the-belarusian-delegation-register> (дата обращения 20.03.2024).

Продукция. Популярность объекта добычи складывается из комплекса факторов: на ряду с материальным интересом учитывается морально-эстетическая составляющая охоты, которая в последнее время является приоритетной. Получение мясной продукции перешло на второй план [11]. В современных условиях к продукции следует отнести услуги по организации охоты, мясную продукцию добытых птиц, сырье для таксидермических изделий и сувениров [12].

Мясная продукция. Мясо тетерева – традиционная и самая массовая категория продукции при использовании ресурсов вида. Для оценки размеров ее производства необходимо выяснить объем добычи, а также мясную продуктивность в зависимости от сезона охоты и региона.

Для предварительной оценки объема мясной продукции от охоты на тетерева нами

Среднеквадратичное отклонение / Root mean square deviation

Таблица 1 – Параметры мясной продуктивности тетерева в Кировской области в течение двух охотничьих сезонов /

Table 1 – Parameters of grouse meat productivity in the Kirov region during two hunting seasons /

Параметр / Parameter	n	M±m	Lim (min–max)	б
Весенний / Spring				
Масса тела, г / Body weight, g	66	1248,20±16,00	850,00–1455,00	129,00
Масса мясной тушки, г / Weight of meat carcass, g	42	871,90±19,57	697,00–1196,00	125,33
Мясная продуктивность, % / Meat productivity, %	42	68,10±1,45	54,3–85,3	9,29
Летне-осенне-зимний / Summer-autumn-winter				
Масса тела, г / Body weight, g	70	1143,70±25,68*	460,00–1530,00	213,35
Масса мясной тушки, г / Weight of meat carcass, g	55	697,00±15,88*	404,00–880,00	116,67
Мясная продуктивность, % / Meat productivity, %	55	60,70±0,82*	47,4–77,2	5,95
Среднее значение / Average value				
Масса тела, г / Body weight, g	136	1195,00±15,93	460,00–1530,00	184,37
Масса мясной тушки, г / Weight of meat carcass, g	97	772,70±15,12	404,00–1196,00	148,19
Мясная продуктивность, % / Meat productivity, %	97	64,00±0,87	47,40–85,30	8,41

Примечания: * Различия между весенним и летне-осенне-зимним сезонами достоверны при $p < 0,05$ /

* Differences between spring and summer-autumn-winter seasons are significant at $p < 0.05$;

б – среднеквадратичное отклонение / б – root mean square deviation

Приведенные материалы, показывают существенные сезонные различия средних весовых показателей, особенно при больших выборках.

Нами не зарегистрировано закупок мяса тетерева на внутреннем рынке региона. Единственный, из известных нам межрегиональных заготовителей мяса тетерева в регионе – ООО «Любо» (бренд – «Дикоед»), которое в 2023-2024 гг. закупало мясные тушки тетерева

рассчитан среднегодовой показатель массы тела и мясной туши на основе двух достоверных выборок по весовым характеристикам, собранным в течение двух охотничьих сезонов. Этот показатель может применяться только для предварительной оценки размеров производства мясной продукции, получаемой при добыче тетерева, так как фактический средний показатель зависит от соотношения количества птиц, добытых в весенний и осенне-зимний периоды, и региональных особенностей популяции птиц.

Включение в добычу самок и сеголетков летне-осенне-зимнего сезона охоты, имеющих более низкие весовые параметры, чем у весенних взрослых самцов, влечет снижение среднего показателя мясной туши до 20,1 %.

Данные, полученные по Кировской области на основе достоверных выборок приведены в таблице 1.

по цене 800–1200 руб. за шт., или 1146,79 руб. за килограмм. В таблице 2 приведена оценка пищевой продукции охоты на тетерева в Кировской области.

Данные таблицы 2 свидетельствуют о заготовке на территории региона от 4,6 до 43 т мяса тетерева на сумму от 5,28 до 49,29 млн руб. В виду различий оценки объемов добычи, разница почти десятикратная как в натуральном, так и в денежном выражении.

Таблица 2 – Оценка мясной продукции охоты на тетерева в Кировской области /
 Table 2 – Evaluation of meat products from black grouse hunting in the Kirov region

Показатель / Indicator	Сезон / Season		
	весенний / spring	летне-осенне-зимний / summer-autumn-winter	годовой / year
Средняя масса мясной тушки, кг / Average weight of meat carcass, kg	0,870	0,697	-
Цена за 1 тушку, руб. / Price per 1 carcass, rubles	1000,00	1000,00	-
Цена за 1 кг, руб. / Price per 1 kg, rubles	1146,79	1146,79	1146,79
Служба "урожая" ВНИИОЗ / «Harvest» Service of Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming			
Объем добычи, тыс. особей / Volume of hunting bag, thousand individuals	12,66	45,83	58,49
Общая масса мясной продукции, кг / Total weight of meat products, kg	11035,16	31945,6	42980,76
Суммарная цена продукции, млн руб. / Total price of products, million rubles	12,66	36,635	49,29
Государственный мониторинг / State monitoring			
Объем добычи, тыс. особей / Volume of hunting bag, thousand individuals	1,57	4,65	6,22
Общая масса мясной продукции, кг / Total weight of meat products, kg	1365,40	3241,70	4607,10
Суммарная цена продукции, млн руб. / Total price of products, million rubles	1,57	3,72	5,28

Охотничий туризм. Основное направление иностранного охотничьего туризма в Кировской области – весенняя охота на самцов глухаря и тетерева на току, которая по популярности превосходила таковую на медведя, лося, волка и рысь. Ежегодные поступления средств от иностранных туристов от добычи тетерева составляли 25–100 тыс. евро, или по курсу 2024 г. от 2,5 до 10 млн рублей. В связи с пандемией COVID-19 и началом специальной военной операции продажа охотничьих туров на тетерева, как и на другие виды, в регионе прекратилась [10].

Анализ деятельности торговой площадки интернет-ресурса Gethunt¹⁰ за 2023 г. показал сравнительно низкий рейтинг охот на тетерева – 1,4 % от общего количества обращений (n = 696), из них 80 % приходится на весеннюю охоту на току. Стоимость организации дня охоты на тетерева на внутреннем рынке варьирует от 3 до 5 тыс. руб., а в среднем – 4333,30 руб. В случае добычи самца тетерева на току трофей оплачивается отдельно, стоимость которого варьирует от 3500 до 5000 руб. (в среднем – 4250 руб.).

С учетом неофициальной информации об объемах добычи тетерева (58488 особей), при ставке сбора 20 руб. за особь, потенциально

в бюджет могло бы поступать более 1 млн руб., но в настоящее время эта сумма составляет около 13 тыс. руб. Цена услуг в сфере охотничьего туризма может достигать от 3,6 до 11,1 млн руб. Стоимость трофеев колеблется в диапазоне от 26,4 до 53,8 млн руб.

Таксидермическая продукция. В настоящее время тетерева не включен в список трофейных видов по системе оценки СИС. Однако чучела, изготавливаемые из его шкурки – популярное таксидермическое изделие [12].

Наиболее популярны чучела токующих самцов. Исполнение может быть как одиночной особи, так и группы птиц. Реже вид используют в композициях совместно с чучелами рыси *Lynx lynx* (L., 1758) или лисицы *Vulpes vulpes* (L., 1758).

По данным опроса на февраль 2024 г., изготовлением чучел тетеревов занимается 50 % мастеров. Стоимость этих изделий колеблется от 4 до 12 тыс. руб. Средняя цена одного изделия – 6 тыс. руб. Результаты анкетного опроса показали, что из 17 видов охотничьих животных, обитающих на территории региона и представляющих интерес для производства таксидермических изделий, тетерева по популярности находится на 12 месте.

¹⁰URL: <https://gethunt.ru/>

Годовой размер производства этой продукции – 20-30 экземпляров, объем реализации находится на уровне 20 чучел. Таксидермическая продукция, получаемая от добычи тетерева, оценивается в размере 120 тыс. руб. в год.

Заключение. Тетерев – один из наиболее массовых видов охотничьих ресурсов Кировской области. Современная численность птиц на территории региона по разным оценкам составляет 362,9–440,7 тыс. особей. Независимо от источника наблюдается устойчивая тенденция снижения ресурсов.

Официальная добыча вида в регионе 6217 особей. Альтернативные методы оценки ВНИИОЗ свидетельствуют о ежегодной добыче 58488 особей. Различия методов оценки составляют 9,4 раза. Соотношение объемов добычи по сезонам сходно.

Сезонная мясная продуктивность различается на 20,1 %, а средняя масса мясной тушки составляет 772,7 г. Общий годовой объем мяс-

ной продукции в регионе оценивается до 43 т мяса тетерева на сумму до 49,29 млн руб.

В настоящее время предоставление услуг по организации охоты на тетерева в регионе носит единичный характер. Ранее же популярность услуг по организации и проведению этих охот была обусловлена высокой долей иностранного охотничьего туризма. Потенциально услуги по организации охоты на тетерева в рамках охотничьего туризма можно оценить от 3,6 до 11,1 млн руб., стоимость трофеев – от 26,4 до 53,8 млн руб.

Таксидермические изделия из шкурок тетерева на внутреннем рынке региона немногочисленны. Годовой объем продукции 120 тыс. руб. в год. Ключевое изделие – токующий самец.

Общий потенциал продукции, получаемой при добыче тетерева в Кировской области – 114,31 млн руб. в год.

Список литературы

1. Ануфриев В. В., Пунацев Е. А. Распространение тетерева, глухаря и рябчика (*Tetraonidae*) в Ненецком автономном округе. Труды Зоологического института РАН. 2024;328(2):285–297. DOI: <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2024.328.2.285> EDN: RAUPRB
2. Белик В. П. Полевой тетерев *Lyrurus tetrix* на юге России: история, современное распространение и биология. Русский орнитологический журнал. 2018;27(1579):1174–1182. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32464202> EDN: YPJRSJ
3. Дунишенко Ю. М., Ермолин А. Б., Даренский А. А., Долинин В. В., Соловей А. А., Голубь А. М., Жуков А. Ю. Охотничьи ресурсы Хабаровского края. Хабаровск: Хабаровская краевая типография, 2014. 324 с.
4. Adamowicz M., Gortat T., Czortek P., Chyliński M. Natural factors or human disturbance: What shapes the occurrence of black grouse *Lyrurus tetrix* on the edge of its continuous range? Research Square. 2023;1–22. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3087033/v1>
5. Warren P., Land C., Hesford N., Baines D. Conserving Black Grouse *Lyrurus tetrix* in southern Scotland: Evidence for the need to retain large contiguous moorland habitat within a forest-moorland landscape. Bird Study. 2019;66(4):494–502. DOI: <https://doi.org/10.1080/00063657.2020.1726875>
6. Dettenmaier S. J., Messmer T. A., Hovick T. J., Dahlgren D. K. Effects of livestock grazing on rangeland biodiversity: a meta-analysis of grouse populations. Ecology and Evolution. 2017;7(19):7620–7627. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3287>
7. Hambáková L., Cukor J., Brynychová K., Ševčík R., Vacek Z., Vacek S., Andersen O. Black grouse (*Lyrurus tetrix*) population status, reasons for decline and potential conservation measures from Western and Central Europe to Fennoscandia: a literature review. Frontiers in Ecology and Evolution. 2024;12:1452317. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1452317>
8. Rotelli L., Bionda R., Zbinden N., Schaub M. Chick survival and hunting are important drivers for the dynamics of two Alpine black grouse *Lyrurus tetrix* populations. Wildlife Biology. 2021;(4):wlb-00874. DOI: <https://doi.org/10.2981/wlb.00874>
9. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. Проект Государственного доклада. М.: Минприроды России, ООО «Интеллектуальная аналитика», ФГБУ «Дирекция НТП», Фонд экологического мониторинга и международного технологического сотрудничества, 2024. 707 с. Режим доступа: <https://bibl.gorobr.ru/cache/medialib2/9318b42f43db8ea4/book.html>
10. Макарющенко В. В. Виды охотничьего туризма в России и основные объекты животного мира, формирующие предложения на охотничьем рынке. Биосферное хозяйство: теория и практика. 2023;(5(58)):44–53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53927636> EDN: GOFJAI
11. Зарубин Б. Е., Колесников В. В., Макаров В. А., Сафонов В. Г., Шевнина М. С., Утробина В. В. Значение охоты и ее продукции глазами охотников России. Киров: Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова, 2012. 76 с.
12. Макарющенко В. В. Использование дериватов охотничьих животных в качестве украшений. Охота и охотничье хозяйство. 2023;(3):45–47.

13. Глушков В. М., Граков Н. Н., Гревцев В. И., Зарубин Б. Е., Карпукхин В. И., Козловский И. С. и др. Учеты и состояние ресурсов охотничьих животных России. Под ред. В. И. Машкина. 2-е изд., доп. Киров: ВНИИОЗ РАСХН, ВГСХА, 2007. 302 с.

14. Колесников В. В., Дворников М. Г., Зарубин Б. Е., Козлова А. В., Кудрявцева А. А., Пиминов В. Н. и др. Состояние ресурсов охотничьих животных на территории страны и осуществление контроля получаемых данных при сохранении преемственности с предшествующими исследованиями. Киров: ФГБНУ ВНИИОЗ им. проф. Б. М. Житкова, 2022. 120 с.

15. Пиминов В. Н., Стрельников Д. П. Ресурсы лесных тетеревиных птиц в России и их динамика. Тренды современной динамики численности и экология лесных тетеревиных птиц Евразии: мат-лы Междунар. науч. конф., посвящ. 100-летию заповедной системы России. Советский: Уральский университет, 2018. С. 112–115. Режим доступа: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/66237>

16. Зарубин Б. Е., Колесников В. В., Козлова А. В., Шевнина М. С., Экономов А. В. Видовая структура добычи мелкой дичи в Кировской области в начале XXI века. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(4):597–607. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.597-607>

References

1. Anufriev V. V., Punantsev E. A. Distribution of the black grouse, capercaillie, and hazel grouse (*Tetraonidae*) at the northern edge of their species range in the Nenets autonomous area. *Trudy Zoologicheskogo instituta RAN* = Proceedings of the Zoological Institute RAS. 2024;328(2):285–297. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31610/trudyzin/2024.328.2.285>

2. Belik V. P. The black grouse *Lyrurus tetrix* in the south of Russia: history, current distribution and biology. *Russkiy ornitologicheskii zhurnal* = The Russian Journal of Ornithology. 2018;27(1579):1174–1182. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32464202>

3. Dunishenko Yu. M., Ermolin A. B., Darenskiy A. A., Dolinin V. V., Solovey A. A., Golub' A. M., Zhukov A. Yu. Hunting resources of the Khabarovsk Territory. Khabarovsk: *Khabarovskaya kraevaya tipografiya*, 2014. 324 p.

4. Adamowicz M., Gortat T., Czortek P., Chyliński M. Natural factors or human disturbance: What shapes the occurrence of black grouse *Lyrurus tetrix* on the edge of its continuous range? Research Square. 2023;1–22. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3087033/v1>

5. Warren P., Land C., Hesford N., Baines D. Conserving Black Grouse *Lyrurus tetrix* in southern Scotland: Evidence for the need to retain large contiguous moorland habitat within a forest-moorland landscape. *Bird Study*. 2019;66(4):494–502. DOI: <https://doi.org/10.1080/00063657.2020.1726875>

6. Dettenmaier S. J., Messmer T. A., Hovick T. J., Dahlgren D. K. Effects of livestock grazing on rangeland biodiversity: a meta-analysis of grouse populations. *Ecology and Evolution*. 2017;7(19):7620–7627. DOI: <https://doi.org/10.1002/ece3.3287>

7. Hambáková L., Cukor J., Brynychová K., Ševčík R., Vacek Z., Vacek S., Andersen O. Black grouse (*Lyrurus tetrix*) population status, reasons for decline and potential conservation measures from Western and Central Europe to Fennoscandia: a literature review. *Frontiers in Ecology and Evolution*. 2024;12:1452317. DOI: <https://doi.org/10.3389/fevo.2024.1452317>

8. Rotelli L., Bionda R., Zbinden N., Schaub M. Chick survival and hunting are important drivers for the dynamics of two Alpine black grouse *Lyrurus tetrix* populations. *Wildlife Biology*. 2021;4(4):wlb-00874. DOI: <https://doi.org/10.2981/wlb.00874>

9. On the state and protection of the environment of the Russian Federation in 2023. Draft State report. Moscow: *Minprirody Rossii, OOO «Intellektual'naya analitika», FGBU «Direktsiya NTP», Fond ekologicheskogo monitoringa i mezhdunarodnogo tekhnologicheskogo sotrudnichestva*, 2024. 707 p. URL: <https://bibl.gorobr.ru/cache/medialib2/9318b42f43db8ea4/book.html>

10. Makaryushchenko V. V. Types of hunting tourism in Russia and the main objects of the animal world that form offers on the hunting market. *Biosfernoe khozyaystvo: teoriya i praktika*. 2023;(5(58)):44–53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=53927636>

11. Zarubin B. E., Kolesnikov V. V., Makarov V. A., Safonov V. G., Shevnina M. S., Utrobina V. V. The importance of hunting and its products through the eyes of hunters in Russia. Kirov: *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut okhotnich'ego khozyaystva i zverovodstva imeni professora B. M. Zhitkova*, 2012. 76 p.

12. Makaryushchenko V. V. The use of derivatives of hunting animals as decorations. *Okhota i okhotnich'e khozyaystvo*. 2023;(3):45–47. (In Russ.).

13. Glushkov V. M., Grakov N. N., Grevtsev V. I., Zarubin B. E., Karpukhin V. I., Kozlovskiy I. S. et al. Records and the state of resources of hunting animals in Russia. Edited by V. I. Mashkin. 2nd ed., enlarged. Kirov: *VNIIOZ RASKhN, VGSKhA*, 2007. 302 p.

14. Kolesnikov V. V., Dvornikov M. G., Zarubin B. E., Kozlova A. V., Kudryavtseva A. A., Piminov V. N. et al. The state of hunting animal resources in the country and monitoring of the data obtained while maintaining consistency with previous research. Kirov: *FGBNU VNIIOZ im. prof. B. M. Zhitkova*, 2022. 120 p.

15. Piminov V. N., Strelnikov D. P. The resources of wood grouse birds in Russia and their dynamics. Modern Trends of Population Dynamics and Ecology of Forest Eurasian Tetraonidae: Materials International scientific conference, dedicated to the 100th anniversary of the Nature Reserve System of Russia. Sovetskiy: *Ural'skiy universitet*, 2018. pp. 112–115. URL: <https://elar.urfu.ru/handle/10995/66237>

16. Zarubin B. E., Kolesnikov V. V., Kozlova A. V., Shevnina M. S., Economov A. V. Species structure of small game hunting in the Kirov region at the beginning of the XXI century. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(4):597–607. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.4.597-607>

Сведения об авторах

Зарубин Борис Евгеньевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела охотничьего ресурсосведения и экологии животных, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5627-2192>

Колесников Вячеслав Васильевич, доктор биол. наук, доцент, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0242-8954>

Экономов Александр Вячеславович, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела охотничьего ресурсосведения и экологии животных, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0242-8954>

Козлова Анна Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отдела охотничьего ресурсосведения и экологии животных, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6665-2755>

Степанов Валерий Вячеславович, младший научный сотрудник, отдела охотничьего ресурсосведения и экологии животных, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1553-3670>

✉ **Перевозчикова Мария Александровна**, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник отдела звероводства (лаборатория ветеринарии), ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт охотничьего хозяйства и звероводства имени профессора Б. М. Житкова», ул. Преображенская, д. 79, Киров, Российская Федерация, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3638-3712>, e-mail: mperevozchikova@mail.ru

Просеков Александр Юрьевич, доктор техн. наук, доктор биол. наук, академик РАН, профессор кафедры бионанотехнологии, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>

Вечтомова Елена Александровна, доктор техн. наук, доцент кафедры технологии продуктов питания из растительного сырья, ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный университет», ул. Красная, 6, г. Кемерово, Российская Федерация, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6842-4537>

Information about the authors

Boris E. Zarubin, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Hunting Resource Studies and Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Preobrazhenskaya St., 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5627-2192>

Vyacheslav V. Kolesnikov, DSc in Biological Science, associate professor, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Preobrazhenskaya St., 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0242-8954>

Aleksandr V. Ekonomov, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Hunting Resource Studies and Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Preobrazhenskaya St., 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0242-8954>

Anna V. Kozlova, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Hunting Resource Studies and Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Preobrazhenskaya St., 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6665-2755>

Valery V. Stepanov, junior researcher, the Department of Hunting Resource Studies and Animal Ecology, Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Preobrazhenskaya St., 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1553-3670>

✉ **Maria A. Perevozchikova**, PhD in Veterinary Science, senior researcher, the Department of Fur Farming (the Laboratory of Veterinary), Professor Zhitkov Federal State Budgetary Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Preobrazhenskaya St., 79, Kirov, Russian Federation, 610000, e-mail: vnioz43@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3638-3712>, e-mail: mperevozchikova@mail.ru

Aleksandr Yu. Prosekov, DSc in Engineering, DSc in Biological Science, academician of the Russian Academy of Sciences, professor at the Department of Bionanotechnology, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5630-3196>

Elena A. Vechtomova, DSc in Engineering, associate professor, the Department of Plant Food Production Technology, Kemerovo State University, Krasnaya St., 6, Kemerovo, Russian Federation, 650000, e-mail: rector@kemsu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6842-4537>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158>



УДК 631.81.095.337:631.862.1

Технологическое решение по переработке свежего навоза и помета с характеристиками полученных продуктов

© 2025. В. В. Голембовский✉, А. А. Коровин, Н. В. Сергеева

Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», г. Ставрополь, Ставропольский край, Российская Федерация

Цель исследования – разработать технологию, обеспечивающую быструю, упрощенную и экологически безопасную переработку свежего навоза и помета; определить состав сепарируемых фракций. Исследования проводили в 2023–2024 гг. в Ставропольском крае. Разработана линия технологического оборудования по переработке свежего навоза и помета, которая состоит из емкости-накопителя, погружного винта-гомогенизатора, погружного насоса, пресс-отделителя, тары для твердой фракции и емкости для жидкой фракции. С одной стороны пресс-отделителя имеется электродвигатель, с другой – отверстие с крышкой на пружине для выхода твердой фракции. В результате технологического процесса твердая фракция собирается в тару, а жидкая через отводящую трубу поступает в емкость для жидкой фракции. Забор фракций осуществляли в течение первых 3 суток с момента выработки и направляли на токсикологическое и агрохимическое исследования в аттестованные лаборатории по утвержденным методикам. В результате установлено, что применение линии технологического оборудования, отличительной особенностью которой является загрузка свежего навоза в емкость-накопитель, предварительно заполненную водой в соотношении свежего навоза или помета и воды от 1,0:1,5 до 1,0:2,5 м³, позволило решить проблему устранения негативного влияния балластных инородных механических включений на износ оборудования; снизить класс опасности свежего навоза/помета до V (практически не опасные отходы); агрохимический, бактериологический и паразитологический состав жидкой и твердой фракций соответствовал требованиям ГОСТ, предъявляемым к органическим и минеральным удобрениям. Полученную жидкую фракцию можно сразу вносить в почву в качестве биоорганического удобрения, а твердую фракцию использовать как субстрат для жизнедеятельности дождевых червей или компостировать. В обоих случаях срок переработки полученной твердой фракции уменьшается до полутора – двух месяцев.

Ключевые слова: побочные продукты животноводства, технология переработки, органические удобрения, вермикомпостирование

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр» (тема № FNMU-2025-0009).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Голембовский В. В., Коровин А. А., Сергеева Н. В. Технологическое решение по переработке свежего навоза и помета с характеристиками полученных продуктов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1142–1158. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158>

Поступила: 01.04.2025

Принята к публикации: 17.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Technological solution for processing fresh manure and droppings with characteristics of the obtained products

© 2025. Vladimir V. Golembovskii✉, Andrei A. Korovin, Natalia V. Sergeeva

All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, Stavropol, Stavropol Territory, Russian Federation

The purpose of the study is to develop a technology that ensures quick, simplified, and environmentally friendly processing of fresh manure and droppings, as well as to determine the composition of the separated fractions. The research was conducted in 2023–2024 in the Stavropol Territory. There has been developed a line of technological equipment for processing fresh manure and droppings, which consists of a storage tank, a submersible homogenizer screw, a submersible pump, a press separator, a container for the solid fraction, and a container for the liquid fraction. On one side of the press separator there is an electric motor, and on the other side there is an opening with a lid on a spring for the exit of the solid fraction. As a result of the technological process, the solid fraction is collected in containers, and the liquid fraction flows through the outlet pipe

into the tank for the liquid fraction. Fractions were sampled during the first 3 days from the moment of production and sent for toxicological and agrochemical studies in certified laboratories according to approved methods. As a result, it has been established that the use of a technological equipment line, the distinctive feature of which is the loading of fresh manure into a storage tank pre-filled with water in a ratio of fresh manure or droppings and water from 1.0:1.5 to 1.0:2.5 m³, should solve the problem of eliminating the negative impact of ballast foreign mechanical inclusions on equipment wear; reduce the hazard class of fresh manure/ droppings up to V (practically non-hazardous waste); agrochemical, bacteriological and parasitological composition of liquid and solid fractions corresponded to the requirements of GOST for organic and mineral fertilizers. The obtained liquid fraction can be immediately applied to the soil as a bioorganic fertilizer, and the solid fraction can be used as a substrate for the vital activity of earthworms or composted. In both cases, the processing time of the obtained solid fraction is reduced to one and a half or two months.

Keywords: animal by-products, processing technology, organic fertilizers, vermicomposting

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 North Caucasian FNAC (theme No. FNMU-2025-0009).

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

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

For citation: Golembovsky V. V., Korovin A. A., Sergeeva N. V. Technological solution for processing fresh manure and droppings with characteristics of the obtained products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1142–1158. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1142-1158>

Received: 01.04.2025

Accepted for publication: 17.10.2025

Published online: 31.10.2025

Обеспечение народонаселения планеты, в том числе России, достаточным количеством продуктов питания на фоне его неуклонного роста при сокращении естественных сельхозугодий возможно только при широком внедрении интенсивных технологий сельскохозяйственного производства, в том числе биотехнологий [1, 2].

Несмотря на то, что больше 50 % всего поголовья крупного и мелкого рогатого скота, лошадей, кроликов и товарной птицы в Российской Федерации содержится в фермерских хозяйствах, четко прослеживается динамика к переводу товарного производства животноводческой продукции в условия крупных специализированных агрокомплексов, что позволяет снизить издержки на содержание животных, увеличить прибыльность хозяйств в условиях постоянного роста цен на энергоресурсы, корма и кормовые добавки, логистические услуги и т. д. [3]. Вместе с тем интенсивное животноводство представляет ряд серьезных угроз для состояния окружающей среды, которые не ограничиваются только территорией животноводческого комплекса, а через живые организмы, воздух, почву, поверхностные, грунтовые и атмосферные воды влияют на экологическую безопасность региона¹ [4].

В отдельных регионах России вследствие масштабирования объектов животноводства риски загрязнения окружающей среды, обусловленные побочными продуктами животноводства (ППЖ), могут достигать 85 % по отношению к другим видам воздействия [5].

В то же время концентрация животноводческих комплексов на ограниченных территориях сопровождается низкой степенью использования органических удобрений на основе ППЖ, предназначенных для выращивания сельскохозяйственных культур, ввиду высокой стоимости их транспортировки на поля. В период 2015–2020 гг. показатель возврата массы органики на поля не превышал 30 % от забранной растениями для своего роста. Как следствие, с одной стороны, наблюдается деградация почв [6], а с другой – повышается диффузная нагрузка до 150 кг/га азота и 20 кг/га фосфора на водные объекты вблизи животноводческих комплексов [7, 8]. Резко выросло количество загрязняющих веществ на землях сельхозназначения, нередко максимально приближенных к населенным пунктам, что усиливает негативное влияние на состояние окружающей среды и здоровье населения [9].

В России суммарный объем показателей основных видов продукции растениеводства и животноводства уступает ежегодно образуемым ППЖ, объем которых оценивается в 600 млн т, порядка 80 % приходится на навоз крупного рогатого скота (КРС) [10].

Вследствие низкого уровня переработки и использования ППЖ ежегодные потери для растениеводства составляют около 2,2 млн т азота и до 0,36 млн т фосфора [11]. Кроме того, низкое использование ППЖ способствует росту выбросов парниковых газов, обостряя тем самым глобальную экологическую проблему потепления климата [12, 13].

¹Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Системы на пределе. Сводный доклад 2021. ФАО. Италия, Рим, 2021. 99 с. [Электронный ресурс]. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru> (дата обращения: 10.03.2025).

Анализ динамики технологических процессов в странах с развитым промышленным животноводством выявил следующие преобладающие тенденции:

- переход на бесподстилочное содержание животных, что сопровождается увеличением технологических стоков и жидкого навоза;
- разработка технологий разделения ППЖ на фракции и их раздельная утилизация;
- резко возросший интерес к технологиям, способствующим снижению эмиссии парниковых газов.

Основные требования, предъявляемые к технологиям по переработке ППЖ, – это максимальное сохранение питательных элементов и минимизация выбросов в атмосферу парниковых газов [14, 15].

С биохимической точки зрения процесс утилизации ППЖ сводится к аэробному и анаэробному окислению субстрата, а на объем эмиссии значительно влияют характер и режимы работы технологий сбора и переработки ППЖ.

В настоящее время предложено более 200 технологий переработки ППЖ. По характеру конечной продукции технологии разделены на одно-, двух- и многопродуктные [16]. Использование однопродуктных технологий нацелено на производство органических удобрений с максимальным содержанием полезных органических и минеральных веществ. Применение двухпродуктных технологий предусматривает получение органических удобрений и воды, которую в дальнейшем можно использовать для технологических нужд. Конечным продуктом многопродуктных технологий являются органические удобрения, очищенная вода, биогаз, электроэнергия, эффлюент метантенков и другие полезные продукты.

При этом не встречается информации, что в качестве полезного продукта выступает сырье для производства вермикомпоста.

В настоящее время порядка 48 % предприятий используют технологию бесподстилочного содержания животных, 21 % из которых использует технологию разделения навоза на фракции с последующей их раздельной переработкой [17].

В связи с неуклонным ужесточением природоохранного законодательства, хранение ППЖ навалом замещается длительным выдерживанием для жидких и полужидких ППЖ и пассивного компостирования на специализированных площадках для твердых ППЖ [18].

В последние десятилетия в связи с переориентацией на «зеленую энергетику» в ряде стран отмечается замещение технологий длительного выдерживания жидкого и полужидкого навоза технологиями производства биогаза путем анаэробного сбраживания ППЖ [19].

Значительно снизились объемы выделения парниковых газов при внедрении технологий сепарации ППЖ и анаэробного сбраживания за счет уменьшения длительности хранения доступных для метаногенов органических веществ [20].

Сепарация ППЖ – это процесс разделения ППЖ на фракции с использованием методов гравитационного, механического, физико-химического, фильтровального разделения. Каждое из вышеупомянутых решений отличается по стоимости и эффективности [21, 22]. В настоящее время механическая сепарация с использованием различного вида шнековых сепараторов, сит, ленточных прессов и центрифуг считается одним из наиболее эффективных способов разделения ППЖ на фракции, позволяющих получать биотопливо и органические удобрения в жидкой и твердой формах. Проблемой широкого внедрения механической сепарации ППЖ в агропроизводство являются частые поломки и быстрый износ оборудования вследствие твердых балластных инородных механических включений (камни, металл, щепа и т. д.), присутствующих в ППЖ.

Перспективным направлением утилизации ППЖ и производства органических удобрений выступает использование технологии аэробной и анаэробной биоферментации, которая представляет собой экзотермический процесс биологического окисления [23]. Использование данной технологии весьма дорогостоящее [24, 25].

Одним из направлений контроля технологического процесса аэробного окисления ППЖ является введение различных минеральных и органических добавок. Так, в результате подкисления субстрата, представляющего из себя навоз КРС, выбросы CH_4 сократились на 38 %, закиси азота (N_2O) – на 50 %, аммиака (NH_3) – на 23 %. Однако высокая стоимость подкислителя делает его малодоступным для многих фермеров [26]. Снижение выбросов CH_4 было отмечено при добавлении в ППЖ флокулянтов: сульфата и хлорида железа, хлорида полиалюминия, Superfloc C-569 и хитозана [27]. Добавление соломы, древесных опилок, биоугля и других органических наполнителей

при компостировании навоза КРС и помета выбросы CH_4 и N_2O снижало на 57 % и более [28].

В настоящее время компостирование является основным методом переработки ППЖ [29]. Однако одной из главных проблем, связанных с компостированием, является выброс парниковых газов, прежде всего CO_2 , CH_4 и N_2O . При этом условия и режимы при использовании технологии влияют на эмиссию парниковых газов. Компостирование, в целом, является четырехфазным процессом, который можно описать следующим образом [30, 31].

Мезофильная фаза – первая стадия процесса компостирования, также известная как начальная точка, в которой мезофильные бактерии размножаются в большом количестве. Наличие продукции CO_2 и H_2O является заметным в этот период. Когда легкодоступные источники углерода истощаются на протяжении мезофильной фазы и фазы созревания, начинает преобладать выработка N_2O .

Термофильная фаза – наиболее активная. В течение 2–4 дней температура внутри компостной кучи быстро повышается и может варьировать от 50 до 65 °C. Большая часть разложения органических отходов происходит во время этой фазы. Повышенная аэрация и удаление NH_3 во время термофильной стадии снижают образование N_2O . Большая часть выбросов CH_4 регистрируется во время начала термофильного процесса. Кроме того, во время этой фазы при компостировании ППЖ наблюдались значительные объемы выбросов CO_2 и NH_3 [32, 33].

Фаза остывания – известная как вторая мезофильная стадия. Если продолжительность компостирования увеличивается, выбросы N_2O во время фазы охлаждения могут превышать выбросы во время мезофильной фазы [34].

Заключительная стадия – это фаза созревания, которая может занять до 6 месяцев. Температура падает (40–50 °C) во время окончательного периода созревания, что указывает на истощение разлагаемого органического вещества в компосте и последующую эмиссию небольшого количества или отсутствия парниковых газов [35].

Погодно-климатические условия при компостировании ППЖ на открытых площадках оказывают существенное влияние на объем выбросов парниковых газов. Так, повышенное содержание влаги влияет на выбросы CH_4 и N_2O , создавая больше анаэробных карманов

CH_4 в компостной куче, что приводит к увеличению выбросов парниковых газов.

Аэрация является одним из ключевых элементов, которые отображают аэробные условия в компостировании. Непрерывная аэрация во время компостирования исключает формирование анаэробных карманов – основных источников выработки парниковых газов, прежде всего CH_4 , и попадающих в атмосферу при эпизодическом ворошении и перемешивании в большом количестве [36].

Температура является основным показателем микробной активности, влияющим на длительность процесса компостирования и зрелость собранного конечного продукта [37]. Скорость выбросов парниковых газов также достоверно зависит от температуры как в открытых, так и закрытых компостерах.

Концентрации CH_4 и NH_3 высоки в диапазоне температур 40–50 °C, тогда как N_2O появляется только при температуре ниже 40 °C.

В ранние (0–15 дней) и поздние (36–49 дней) периоды компостирования образуется 90 % эмиссии парниковых газов независимо от типа ППЖ. В первые 35 дней выбрасывается более 90 % CO_2 , а 40–75 % N_2O – в поздний период компостирования [38].

Добавление дождевых червей в субстрат способствует снижению эмиссии парниковых газов при компостировании ППЖ [39, 40].

Вермикомпостирование является относительно новым и экологически безопасным способом решения проблемы утилизации ППЖ, который включает в себя действие как дождевых червей, так и микроорганизмов, в том числе обитающих в кишечнике червей, что приводит к более быстрой скорости разложения [41, 42, 43]. Отмечено снижение выбросов N_2O и CH_4 во время вермикомпостирования по сравнению с компостированием на 40 и 32 % при высоком содержании влаги, тогда как при низком содержании влаги снижение выбросов парниковых газов составило 23 и 16 % соответственно [44]. Содержание влаги является важнейшим элементом в процессе вермикомпостирования, который влияет на выбросы CH_4 и N_2O . Экстремальное содержание влаги (как высокое, так и низкое) вызывает гибель дождевых червей в системах вермикомпостирования из-за ограничений в их дермальных дыхательных системах. Кроме того, оно может усилить выработку N_2O , способствуя одновременному процессу нитрификации и денитрификации в мезофильных условиях.

Наличие избыточного содержания влаги в отходах субстратов вызывает анаэробные условия в вермикомпостах, благоприятствуя метаногенным бактериям для выделения CH_4 [45]. Многие исследователи утверждают, что наиболее подходящий диапазон содержания влаги для вермикомпоста составляет от 70 до 90 % [46, 47].

Таким образом, ППЖ могут выступать в качестве ценного сырья для производства удобрений, внесение которых будет способствовать восстановлению плодородия почв, увеличению урожайности сельскохозяйственных культур, повышению рентабельности и конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий [48, 49].

Федеральным законом от 14 июля 2022 г. № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»² утверждено повышение эффективности вовлечения побочных продуктов животноводства, представленных преимущественно различными видами навоза и помета, в сельскохозяйственное производство, в том числе для обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

Утилизация ППЖ с получением удобрений на основе механических, физических и химических методов показала недостаточную экономическую эффективность. Главными недостатками данных способов являются высокие энергетические затраты и техническая сложность оборудования, не позволяющие их использовать для переработки свежего навоза и помета в условиях малых и средних сельхозпредприятий. В большинстве своем они также не предусмотрены для получения экологически чистых органоминеральных удобрений и субстрата для вермикомпостирования [50].

Способы утилизации органосодержащих отходов, основанные на применении бактериологических и ферментативных препаратов, продемонстрировали хорошие результаты и показали свою перспективность в условиях

экспериментов [51], но оказались достаточно дорогостоящими и до настоящего времени не нашли широкого применения в сельхозпроизводстве. Общими недостатками данных способов является сложность приготовления компостной смеси, использование дорогостоящих микробиологических препаратов, а также значительные потери органических веществ и азота при аэробном способе компостирования [52].

Рост цен на удобрения вынуждает растениеводов возвращаться к использованию ППЖ, прошедших естественное и технологически поддерживаемое компостирование, для восстановления почвенного плодородия.

Тем не менее естественное компостирование имеет ряд существенных недостатков. Во-первых, на его осуществление требуется достаточно длительный промежуток времени, в течение которого содержание полезных органических и минеральных веществ существенно снижается. Во-вторых, потребность внесения компоста в почву может достигать десятков тонн на 1 гектар, что с учетом логистических затрат для многих сельхозпроизводителей является экономически нецелесообразным.

Наш интерес вызвали работы по утилизации таких видов побочных продуктов животноводства, как свежие навоз и помет, которые согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, утверждённому приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242³, отнесены к III-IV классам опасности и представляют наибольшую токсическую угрозу для состояния окружающей среды. При этом отдельными исследователями указывалось, что различные виды навоза и помета, как и полученные на их основе вермикомпосты, могут быть использованы в качестве органических удобрений.

Однако нет единого мнения о возможности непосредственного использования фракций – жидкой и твердой, полученных в результате сепарации ППЖ в качестве органических удобрений, т. к. степень их токсичности не приводилась [53].

²Сводный доклад 2021. ФАО. Италия, Рим, 2021. 99 с. DOI: <https://doi.org/10.4060/cb7654ru>

³Федеральный классификационный каталог отходов, утверждённый приказом Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242. [Электронный ресурс]. URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=488379> (дата обращения: 20.01.2025).

В отдельных работах [3, 4, 21] указывалось, что жидкая фракция непосредственно вывозилась на поля, а твердая направлялась в отвалы для утилизации путем естественного компостирования, длительностью 6–12 месяцев в зависимости от погодных-климатических условий региона.

Вместе с тем широко известны экологически чистые технологии переработки ППЖ с использованием дождевых червей – вермикотехнологии. Однако отсутствие технологически простого оборудования, позволяющего превратить побочные продукты животноводства в максимально адаптированный для жизнедеятельности червя субстрат и сырье для выработки вермикомпоста, препятствует широкому внедрению технологий вермикомпостирования.

Цель исследования – разработать технологию, обеспечивающую быструю, упрощенную и экологически безопасную переработку свежего навоза и помета; определить состав сепарируемых фракций.

Научная новизна – разработана линия технологического оборудования по модульному типу, позволяющая снизить класс опасности свежего навоза/помета до V (практически не опасные отходы), в процессе его сепарации получить жидкое органическое удобрение, пригодное для немедленного использования, и твердую фракцию, которая выступит в качестве исходного сырья для вермикомпостирования и субстрата для жизнедеятельности дождевых червей семейства Lumbricidae, в результате чего будут получены органическое удобрение – вермикомпост и биомасса червей,

пригодная в качестве белково-витаминной кормовой добавки.

Материал и методы. Исследования по теме проводили в 2023-2024 гг. во ВНИИОК – филиале ФГБНУ «Северо-Кавказский ФНАЦ». Опытные-конструкторские и технологические работы осуществляли, руководствуясь ГОСТ Р 15.301-2016⁴ и Методическими рекомендациями РД-АПК 1.10.15.02-17** (с изменениями № 1, № 2) от 01.11.2024 г.⁵

Объекты исследований – линия по производству жидкой и твердой фракции навоза КРС по разработанной авторами технологии и сами фракции (рис. 1–4). Забор фракций осуществляли и направляли на токсикологическое и агрохимическое исследование в течение первых 3 суток с момента выработки. Исследования проводили в весенне-летний период непосредственно на территории животноводческой фермы. Повторность опытов трехкратная.

Токсикологический анализ вытяжек навоза и проб жидкой фракции на острое токсическое действие осуществляли в аттестованной химико-экологической лаборатории ООО «ЮЦПК Промышленная Безопасность» с использованием в качестве тест-объектов дафний *Daphnia magna Straus* (Методика выполнения измерений ФР. 1.39.2007.03222⁶ и водоросли *Scenedesmus quadricauda* (Методика выполнения измерений ФР 1.39.2007.03223⁷).

Агрохимические исследования проводили по стандартным методикам⁸, утвержденным ГОСТ и ведомственными методическими указаниями в условиях аттестованных лабораторий ФГБУ «Государственный центр

⁴ГОСТ Р 15.301-2016. Система разработки и постановки продукции на производство (СПП). Продукция производственно-технического назначения. Порядок разработки и постановки продукции на производство. М.: Стандартинформ, 2018. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293750/4293750620.pdf>

⁵Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта РД-АПК 1.10.15.02-17** (с изменениями № 1, № 2) от 01.11.2024 г. М., 2024. 174 с. URL: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/a27/f20sl5akd8o65xztg8eob1ifzf6ooahh.pdf>

⁶Методика выполнения измерений ФР 1.39.2007.03222. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности воды и водных вытяжек из почв, осадков сточных вод, отходов по смертности и изменению плодовитости дафний. М.: Акварос, 2007. 51 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/5e9/4293842234.pdf>

⁷Методика выполнения измерений ФР 1.39.2007.03223. Биологические методы контроля. Методика определения токсичности вод, водных вытяжек из почв, осадков сточных вод и отходов по изменению уровня флуоресценции хлорофилла и численности клеток водорослей. М.: Акварос, 2007. 47 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/1c0/4293842245.pdf>

⁸Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных и продукции растениеводства. ЦИНАО. М., 1992; Методические указания по определению мышьяка в почвах фотометрическим методом. МСХ., ЦИНАО. М., 1993.

агрохимической службы «Ставропольский» согласно требованиям ГОСТ Р 56004-2014⁹, ГОСТ 27980-88¹⁰, ГОСТ 26717-85¹¹, М-МВИ-80-2008¹², ГОСТ 27979-88¹³.

Методом биоиндикации дождевыми червями семейства Lumbricidae Eisenia fetida и Dendrobaena Veneta, согласно ГОСТ 33036-2014¹⁴, твердая фракция тестировалась на пригодность использования в качестве сырья для вермикомпостирования.

Санитарно-бактериологические и санитарно-паразитологические исследования проводили в Испытательном центре ФГБУ «Северо-Кавказская межрегиональная ветеринарная лаборатория», руководствуясь ГОСТ Р 54001-2010¹⁵, ГОСТ Р 57782-2017¹⁶, МУ 2.1.7.2657-10¹⁷, МУК 4.2.3695-21¹⁸.

Статистическую обработку данных выполняли в программах Statistica и Microsoft Excel.

Технический результат с помощью предлагаемой линии достигается путем переработки свежего навоза и помета за счет максимально упрощенного технологического процесса без дополнительных затрат труда и времени с возможностью использовать различные имеющиеся комплектующие для выполнения всех необходимых операций.

Линия переработки свежего навоза и помета состоит из емкости-накопителя 1 (рис. 1), к верхней части которой крепится погружной винт-гомогенизатор 2 с лопастями 3.

На погружном винте-гомогенизаторе 2 имеется двигатель 4, соединенный с карданом 5, который в свою очередь соединен с редуктором 6.

Лопастями 3 погружного винта-гомогенизатора 2 с наружной стороны имеют защитный кожух 7, предотвращающий механические повреждения. Кроме того, в емкости-накопителе 1 имеется погружной насос 8, имеющий рукав загрузки 9, который соединен с пресс-отделителем 10.

Пресс-отделитель 10 (рис. 2, 3) состоит из статичных внешнего корпуса 11, внутреннего перфорированного корпуса 12 и шнека 13 для отжима, установленного с возможностью вращения внутри перфорированного корпуса 12. При этом с одной стороны пресс-отделителя 10 имеется электродвигатель 14, который приводит в движение шнек 13, а с другой стороны – отверстие с крышкой на пружине 15 для выхода твердой фракции, которая попадает в специальную тару 16. Степень влажности твердой фракции можно регулировать с помощью отверстия с крышкой на пружине 15. Внешний корпус 11 имеет отводящую трубу 17, по которой жидкая фракция поступает в емкость 18.

Результаты и их обсуждение. Оборудование для переработки свежего навоза и помета работает следующим образом. Свежий навоз загружается в емкость-накопитель 1, предварительно заполненную водой в соотношении свежего навоза или помета и воды от 1,0:1,5 до 1,0:2,5 м³. В результате класс опасности снижается до V (практически не наносит вреда окружающей среде). Поэтому отпадает необходимость в дополнительной обработке путем нагревания или применения химических или биологических препаратов.

⁹ГОСТ Р 56004-2014. Удобрения органические. Вермикомпосты. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2014. 12 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293771/4293771818.pdf>

¹⁰ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf>

¹¹ГОСТ 26717-85. Удобрения органические. Метод определения общего фосфора. М.: изд-во стандартов, 1985. 8 с. URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/203/20387.pdf>

¹²М-МВИ-80-2008. Методика выполнения измерений массовой доли элементов в пробах почв, грунтов и донных отложениях методами атомно-эмиссионной и атомно-абсорбционной спектроскопии. СПб, 2008. 36 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/b7c/4293824289.pdf>

¹³ГОСТ 27979-88. Удобрения органические. Метод определения pH. М.: изд-во стандартов, 1989. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/8b7/4294826788.pdf>

¹⁴ГОСТ 33036-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. Определение острой токсичности для дождевых червей. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293766/4293766911.pdf>

¹⁵ГОСТ Р 54001-2010. Удобрения органические. Методы гельминтологического анализа. М.: Стандартинформ, 2011. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293801/4293801576.pdf>

¹⁶ГОСТ Р 57782-2017. Удобрения органические. Методы паразитологического анализа. Методы определения ооцист и цист простейших. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293742/4293742925.pdf>

¹⁷МУ 2.1.7.2657-10. Энтомологические методы исследования почвы населенных мест на наличие преимагинальных стадий синантропных мух: методические указания. М.: Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2010. 12 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/e31/4293816464.pdf>

¹⁸МУК 4.2.3695-21. Методы контроля. Биологические и микробиологические факторы. Методы микробиологического контроля почвы: методические указания. М., 2021. 28 с. URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/metodicheskie-ukazaniya/0/muk_4_2_3695-21_4_2_metody_kontrolya_biologicheskie_i.html

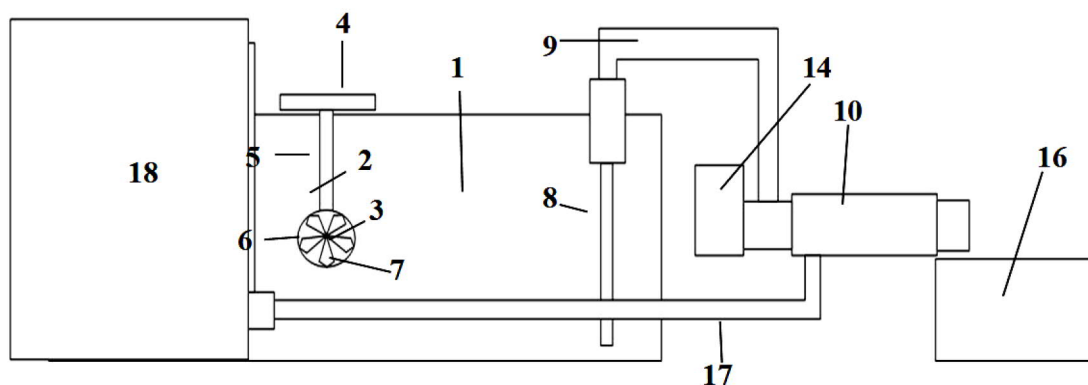


Рис. 1. Линия переработки свежего навоза и помета (вид сбоку): 1 – емкость-накопитель; 2 – погружной винт-гомогенизатор; 3 – лопасти погружного винта-гомогенизатора; 4 – двигатель; 5 – кардан; 6 – редуктор; 7 – защитный кожух; 8 – погружной насос; 9 – рукав загрузки; 10 – пресс-отделитель; 14 – электродвигатель; 16 – специальная тара для твердой фракции; 17 – отводящая труба; 18 – емкость для жидкой фракции /

Fig. 1. Fresh manure and dropping processing line (side view): 1 – storage tank; 2 – submersible homogenizer screw; 3 – blades of the submersible homogenizer screw; 4 – motor; 5 – cardan shaft; 6 – reduction gearbox; 7 – protective casing; 8 – submersible pump; 9 – loading sleeve; 10 – press separator; 14 – electric motor; 16 – special container for the solid fraction; 17 – discharge pipe; 18 – container for the liquid fraction

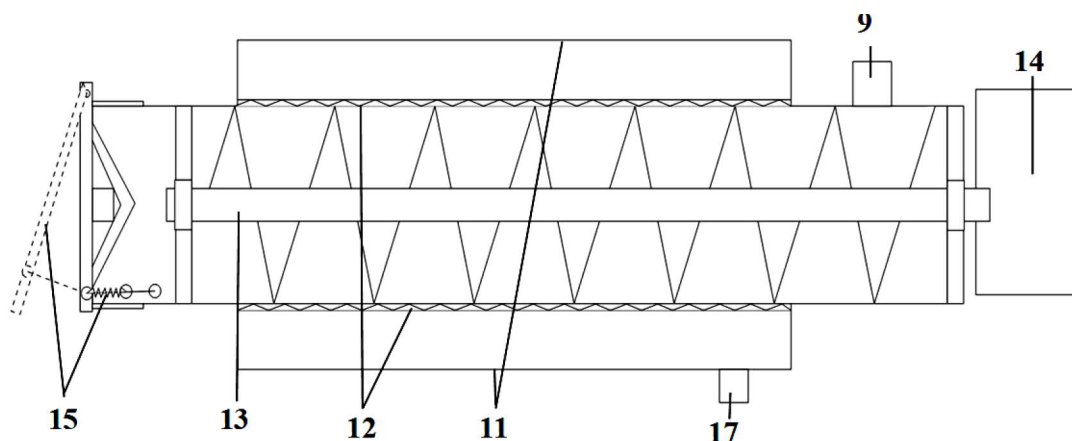


Рис. 2. Система пресс-отделителя (вид сбоку в разрезе): 9 – рукав загрузки; 11 – статичный внешний корпус; 12 – внутренний перфорированный корпус; 13 – шнек для отжима; 14 – электродвигатель; 15 – отверстие с крышкой на пружине для выхода твердой фракции; 17 – отводящая труба /

Fig. 2. Press separator system (side view in sectional view): 9 – loading sleeve; 11 – static outer casing; 12 – inner perforated casing; 13 – pressing auger; 14 – electric motor; 15 – opening with spring-loaded cover for solid fraction outlet; 17 – discharge pipe

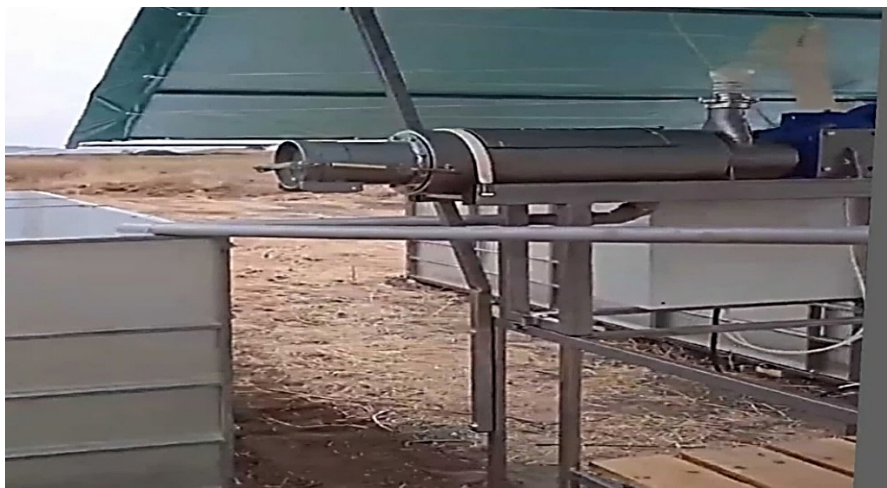


Рис. 3. Общий вид пресс-отделителя /
Fig. 3. General view of the press-separator

Спустя несколько часов естественного размягчения на погружном винте-гомогенизаторе 2 (рис. 1) запускается двигатель 4, с которого передается импульс через кардан 5 на редуктор 6, приводящий в действие лопасти 3 винта-гомогенизатора 2, с наружной стороны которого имеется защитный кожух 7, предотвращающий от механических повреждений. В результате работы погружного винта-гомогенизатора 2 (рис. 1) балластные инородные механические включения с высокой удельной массой (камни, щебень, металл т. д.) оседают на дно, а с низкой удельной массой (шпагат, веревки, щепа, палки и т. д.) всплывают на поверхность. Затем с помощью погружного насоса 8 гомогенизированный навоз подается через рукав загрузки 9 в пресс-отделитель 10.

Включив электродвигатель 14, в прессе-отделителе 10 (рис. 2) гомогенизированный навоз при вращении шнека 13 движется внутри перфорированного корпуса 12, в результате чего через отверстия внутреннего перфорированного корпуса 12 отделяется жидкая фракция и попадает во внешний корпус 11, а затем через отводящую трубу 17 в емкость для жидкой фракции 18 (рис. 1). Твердая фракция, накапливаясь во внутреннем перфорированном корпусе

12 (рис. 2), выходит через отверстие с крышкой на пружине 15, с помощью которой можно регулировать степень отжатия твердой фракции. После отжатия твердая фракция собирается в сменную тару 16 (рис. 1).

В результате использования линии обораживания рН жидкой фракции составил 7,2, твердой – 6,9.

Нативные пробы вытяжек свежего навоза и жидкой фракции оказывали острое токсическое действие на тест-объекты *Daphnia magna Straus* и *Scenedesmus quadricauda*. Однако разведение проб водой в соотношении 1,0:1,5 для *Daphnia magna Straus* и 1,0:1,6 – для *Scenedesmus quadricauda* при продолжительности наблюдения 96 и 72 ч соответственно демонстрировало безвредную кратность разбавления пробы (БКР10-96/БКР20-72), вызывающую гибель не более 10 % тест-организмов *Daphnia magna Straus* по сравнению с контролем за 96 ч ($1 < \text{БКР10-96} < 100$) и не более 20 % водорослей *Scenedesmus quadricauda* по сравнению с контролем за 72 ч ($1 < \text{БКР20-72} < 100$).

Массовая доля органического вещества, сухого вещества и основных питательных веществ и микроэлементов в твердой фракции превысили таковые в жидкой фракции (рис. 4–6).

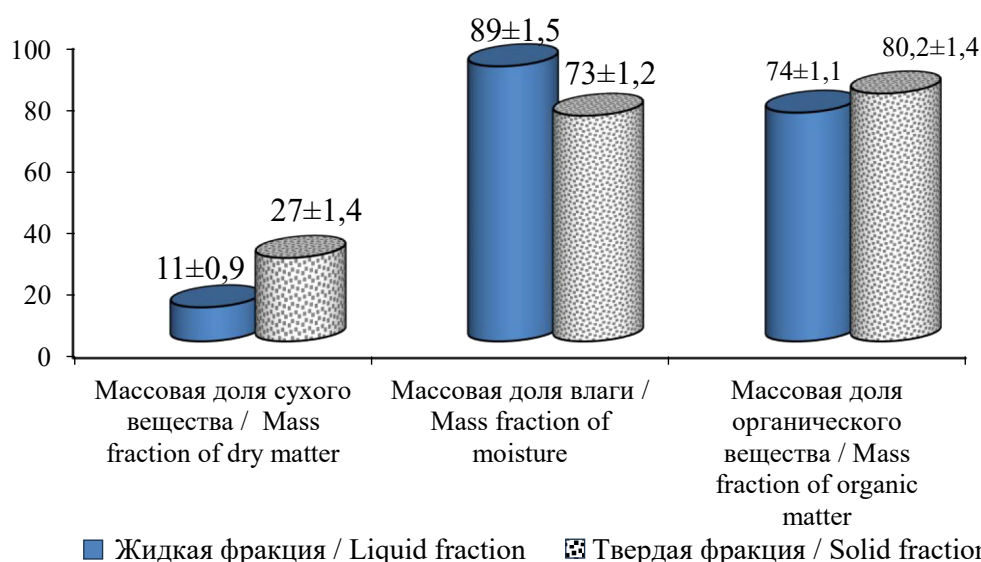


Рис. 4. Содержание органического вещества, влаги и сухого вещества в сепарированных фракциях, % /
Fig. 4. Organic matter, moisture and dry matter content in separated fractions, %

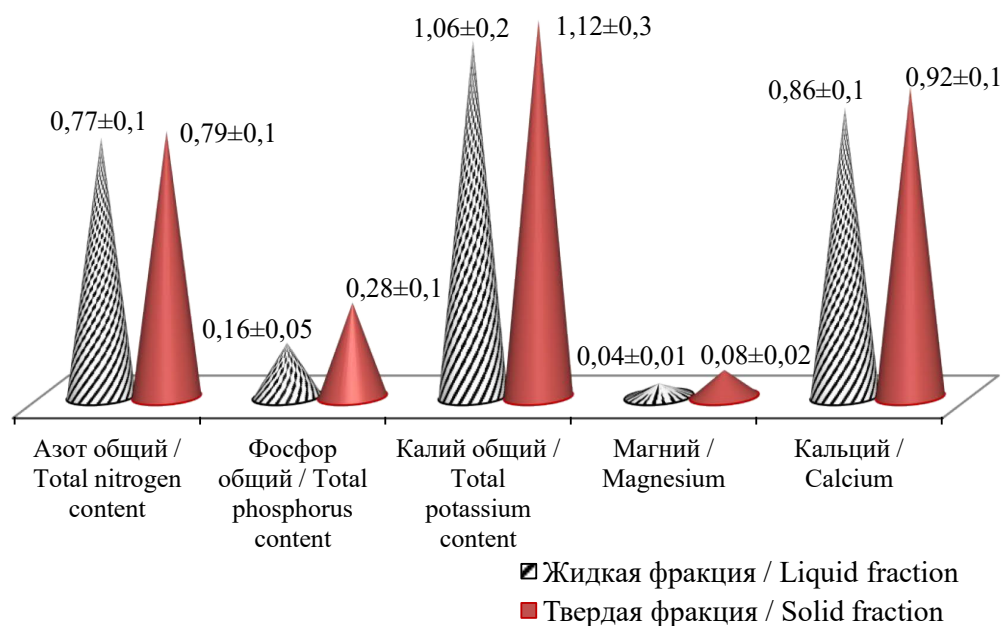


Рис. 5. Содержание основных питательных веществ и микроэлементов в сепарированных фракциях, % /
Fig. 5. Content of main nutrients and trace elements in separated fractions, %

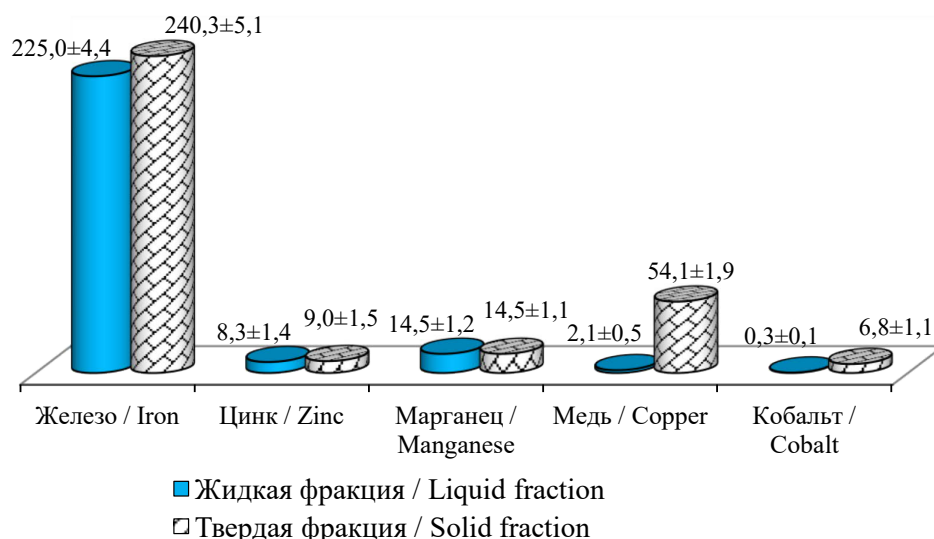


Рис. 6. Содержание микроэлементов в сепарированных фракциях, мг/кг /
Fig. 6. Content of trace elements in separated fractions, mg/kg

Содержание свинца и мышьяка в твердой фракции было ниже, а кадмия – выше такового в сравнении с жидкой фракцией (рис. 7).

Содержание ртути, бенз(а)пирена, гексахлорциклогексана (гексахлорана), дихлордифенилтрихлорэтана и его метаболитов составляет менее 0,005 мг/кг.

Для обеих фракций удельная эффективная активность естественных радионуклидов составляет 23,1 Бк/кг, а удельная эффективная активность техногенных радионуклидов (ACs/45 + ASr/30) – 0,01 отн. ед. Кроме того, выделенные фракции не содержали механи-

ческих включений в отличие от нативного навоза, доставленного непосредственно с фермы.

При исследовании бактериологического и паразитологического составов жидкой и твердой фракций личинки и куколки синантропных мух, патогенные и болезнетворные микроорганизмы, жизнеспособные яйца и личинки гельминтов, цисты кишечных патогенных простейших не обнаружены. Индекс БГКП (колиформы и энтеробактерии) составил соответственно в жидкой фракции 6 и 4 КОЕ/г, в твердой – 2 и 2 КОЕ/г.

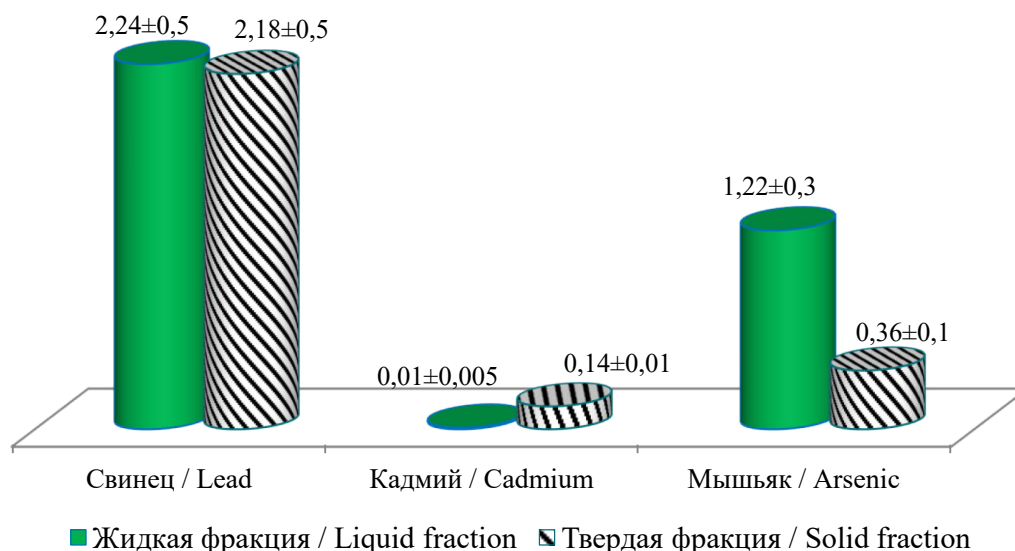


Рис. 7. Содержание примесей отдельных токсичных элементов в сепарированных фракциях мг/кг /
Fig. 7. Impurity content of individual toxic elements in separated fractions, mg/kg

Агрохимические, санитарно-бактериологические и токсикологические исследования подтверждают соответствие ГОСТ 33830-2016¹⁹, ГОСТ Р 53117-2008²⁰ и ГОСТ Р 56004-2014²¹ органических удобрений, следовательно, жидкая фракция пригодна для внесения в почву, а твердая фракция может быть использована в качестве субстрата для дождевых червей или компостирования. В обоих случаях срок переработки полученной твердой фракции уменьшается до полутора – двух месяцев.

Таким образом, разработанная линия технологического оборудования по переработке свежего навоза и помета способна резко сократить выбросы в атмосферу парниковых газов, т. к. оказывает прямое воздействие на биохимический, микробиологический и временной процессы, тем самым исключает из газообразования основные эмиссионные фазы компостирования: мезофильную, термофильную и охлаждения, а передача твердой фракции для последующего вермикомпостирования исключает фазу созревания.

Заключение. В результате проведенных агрохимических исследований установлено незначительное превышение в твердой фракции в сравнении с жидкой содержания азота общего ($0,79 \pm 0,1$ и $0,77 \pm 0,1$ % соответственно), калия общего ($1,12 \pm 0,3$ и $1,06 \pm 0,2$ %), кальция ($0,92 \pm 0,1$ и $0,86 \pm 0,1$ %), железа ($240,3 \pm 5,1$ и

$225,0 \pm 4,4$ мг/кг), цинка ($9,0 \pm 1,5$ и $8,3 \pm 1,4$ мг/кг), марганца ($14,5 \pm 1,1$ и $14,5 \pm 1,2$ мг/кг).

В то же время превышение в твердой фракции в сравнении с жидкой содержания фосфора общего ($0,28 \pm 0,1$ и $0,16 \pm 0,05$ % соответственно), магния ($0,08 \pm 0,02$ и $0,04 \pm 0,01$ %), меди ($54,1 \pm 1,9$ и $2,1 \pm 0,5$ мг/кг) и кобальта ($6,8 \pm 1,1$ и $0,3 \pm 0,1$ мг/кг) было значительным.

Линия переработки свежего навоза и помета проста, не требует использования специальной техники и оборудования.

Предварительное разбавление свежего навоза или помета водой в соотношении от 1,0:1,5 до 1,0:2,5 м³ позволило решить проблему устранения негативного влияния балластных инородных механических включений на износ оборудования, а также снизить класс опасности свежего навоза/помета до V (практически не опасные отходы).

Предлагаемая линия переработки свежего навоза/помета позволяет интенсивно перерабатывать и утилизировать ППЖ, оказывающие негативное воздействие на состояние окружающей среды, не имевшие ранее должного полезного практического применения, и получать экологически чистые органоминеральные удобрения, соответствующие требованиям ГОСТ (органические удобрения), сбалансированные по макро- и микроэлементам питания для растений.

¹⁹ГОСТ 33830-2016. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия.

М.: Стандартинформ, 2016. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293752/4293752081.pdf>

²⁰ГОСТ Р 53117-2008. Удобрения органические на основе отходов животноводства. Технические условия.

М.: Стандартинформ, 2009. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293828/4293828711.pdf>

²¹URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293771/4293771818.pdf>

Данную линию переработки свежего навоза/помета можно использовать как круглогодично, так и сезонно. Кроме того, можно использовать любые комплектующие (емкости, погружные винты-гомогенизаторы, насосы, прессы или сепараторы) в зависимости от объемов перерабатываемого сырья и финансовых возможностей предприятия.

Линия переработки свежего навоза/помета позволяет существенно ускорить процесс естественного компостирования навоза и помета, снизить объем выбросов парниковых газов в атмосферу, получить экологически чистые комплексные органоминеральные удобрения, необходимые для восстановления плодородия почв и урожайности сельскохозяйственных культур.

Список литературы

1. Ветчинников Д. В. Экономически эффективные стратегии переработки отходов АПК на основе внедрения инноваций. Вестник Московского финансово-юридического университета МФЮА. 2022;(3):216–230. DOI: https://doi.org/10.52210/2224669X_2022_3_216 EDN: IAUJ TZ
2. Bychkova E., Rozhdestvenskaya L., Podgorbunskikh E., Kudachyova P. The problems and prospects of developing food products from high-protein raw materials. Food Bioscience. 2023;56:103286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103286>
3. Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Уваров Р. А. Методы экологически безопасного использования навоза и помета фермерскими хозяйствами в Ленинградской области. АгроЭкоИнженерия. 2021;(3(108)):128–140. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140> EDN: FHQNAX
4. Ковалёв Н. Г., Гриднев П. И., Гриднева Т. Т. Научное обеспечение развития экологически безопасных систем утилизации навоза. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(1(50)):62–69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476143> EDN: VLMWAN
5. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Научно-техническое обеспечение для решения задач федерального закона № 248 о побочных продуктах животноводства. Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК: сб. мат.-лов. XV Междунар. науч.-практ. конф. М.: Росинформагротех, 2023. С. 55–61. Режим доступа: <https://elibrary.ru/fwuczi> EDN: FWUCZI
6. Поздняков Ш. Р., Брюханов А. Ю., Кондратьев С. А., Игнатъева Н. В., Шмакова М. В., Минакова Е. А. и др. Перспективы сокращения выноса биогенных элементов с речных водосборов за счет внедрения наилучших доступных технологий сельскохозяйственного производства (по результатам моделирования). Водные ресурсы. 2020;47(5):588–602. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0321059620050168> EDN: XSXZUZ
7. Кондратьев С. А., Ершова А. А., Экхольм П., Викторова Н. В. Биогенная нагрузка с российской территории на Финский залив. Фундаментальная и прикладная гидрофизика. 2019;12(2):77–87. DOI: <https://doi.org/10.7868/S2073667319020096> EDN: JVSKXQ
8. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Химическая деградация земель под воздействием отходов животноводства. Теоретическая и прикладная экология. 2022;(3):219–225. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225> EDN: OIFOLE
9. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Охтилев М. Ю., Коромысличенко О. В. Инструмент для мониторинга экологического состояния и устойчивого развития сельскохозяйственного производства. Техника и технологии в животноводстве. 2023;1(49):78–84. DOI: <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-78> EDN: UKCKMG
10. Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Повышение экологической безопасности путем разработки технологического регламента переработки и использования побочной продукции животноводства. АгроЭкоИнженерия. 2023;(1(114)):141–154. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-141-154> EDN: KABEKB
11. Брюханов А. Ю., Романовская А. А., Шалавина Е. В., Васильев Э. В., Вертянкина В. Ю. Влияние технологий переработки навоза и помета на эмиссии парниковых газов. Инженерные технологии и системы. 2024;34(4):563–583. DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583> EDN: FXVRMF
12. Второй В. Ф., Второй С. В. Источники эмиссии углекислого газа на молочных фермах крупного рогатого скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(4):572–579. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579> EDN: XUKOPK
13. Романцева Ю. Н., Бодур А. М., Маслакова В. В., Кагирова М. В. Анализ динамики и структуры эмиссии парниковых газов в сельском хозяйстве России. Аграрная наука. 2024;(2):139–145. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-139-145> EDN: AKUMGW
14. Ахметшина Л. Г. Возможности российского сельского хозяйства в снижении выбросов парниковых газов и адаптации к климатическим изменениям. Вестник Алтайской академии экономики и права. 2022;(4-1):5–14. DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.2129> EDN: AWAYLX
15. Al-Sulaimi I. N., Nayak J. K., Alhimali H., Sana A., Al-Mamun A. Effect of volatile fatty acids accumulation on biogas production by sludge-feeding thermophilic anaerobic digester and predicting process parameters. Fermentation. 2022;8(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8040184>

16. Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Методика формирования технологий рециклинга жидких органических отходов животноводства. *АгроЭкоИнженерия*. 2022;(3(112)):97–109.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-3112-97-108> EDN: XOSCDQ
17. Васильев Э. В., Максимов Д. А., Шалавина Е. В. Результаты исследований биотермической ферментативной переработки органических отходов свиноводческого комплекса с оценкой образующихся выбросов. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2023;3(63):200–206.
DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-3-200-206> EDN: FPWRVP
18. Уваров Р. А., Шалавина Е. В., Васильев Э. В. Технологии утилизации навоза в регионе Балтийского моря: Анализ и наметившиеся тенденции. *АгроЭкоИнженерия*. 2021;(3(108)):117–128.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-117-128> EDN: PUUYID
19. Зеников В. И. Перспективная технология аэробной ферментации побочных продуктов сельского хозяйства и других отраслей. *Вестник российской сельскохозяйственной науки*. 2024;3:69–72.
DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224030153> EDN: YWXDIA
20. Baltic Slurry Acidification: Market potential analysis. Edd. S. Neumann, M. Zacharias, R. Stauss, et al. Uppsala: RISE – Research Institutes of Sweden, 2017. 140 p.
21. Хамитов Э. А. Стратегия повышения эффективности утилизации навозных стоков свиноводческих хозяйств с помощью декантерных центрифуг. *Аграрный вестник Северного Кавказа*. 2023;(2(50)):45–51.
DOI: <https://doi.org/10.31279/222-9345-2023-13-50-45-51> EDN: GRJZEU
22. Слиган М. Е., Гордеев В. В. Сравнительная оценка систем навозоудаления на фермах КРС в условиях Северо-Запада России. *АгроЭкоИнженерия*. 2024;(3(120)):168–183.
DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183> EDN: AUFQUE
23. Zhang F., Yu W., Liu W., Xu Z. The mixed fermentation technology of solid wastes of agricultural biomass. *Frontiers in Energy Research*. 2020;8:50. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00050>
24. Ayilara M. S., Olanrewaju O. S., Babalola O. O., Odeyemi O. Waste management through composting: challenges and potentials. *Sustainability*. 2020;12(11):4456. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114456>
25. Meng X., Sørensen P., Møller H. B., Petersen S. O. Greenhouse gas balances and yield-scaled emissions for storage and field application of organic fertilizers derived from cattle manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023;345:108327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108327>
26. Брюханов А. Ю., Попов В. Д., Васильев Э. В., Шалавина Е. В., Уваров Р. А. Анализ и решения экологических проблем в животноводстве. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021;15(4):48–55.
DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55> EDN: QOUEYO
27. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Yu., Li G. et al. Relating bacterial dynamics and functions to greenhouse gas and odor emissions during facultative heap composting of four kinds of livestock manure. *Journal of Environmental Management*. 2023;345:118589. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589>
28. Ellison R. J., Horwath W. R. Reducing Greenhouse Gas Emissions and Stabilizing Nutrients from Dairy Manure Using Chemical Coagulation. *Journal of Environmental Quality*. 2021;50(2):375–383.
DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20195>
29. Ba S., Qu Q., Zhang K., Groot J. C. J. Meta-analysis of greenhouse gas and ammonia emissions from dairy manure composting. *Biosystems Engineering*. 2020;193:126–137.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.015>
30. Gage J. Checklist for odor management at compost facilities. *BioCycle*. 2003;44(5):42–47.
31. Al-Ghussain L. Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2019;38(1):13–21. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.13041>
32. Zhou G., Xu X., Qiu X., Zhang J. Biochar influences the succession of microbial communities and the metabolic functions during rice straw composting with pig manure. *Bioresource Technology*. 2019;272:10–18.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.135>
33. Awasthi M. K., Zhang Z., Wang Q., et al. New insight with the effects of biochar amendment on bacterial diversity as indicators of biomarkers support the thermophilic phase during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2017;238:589–601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.100>
34. Han Z., Sun D., Wang H., Li R., Bao Zh., Qi F. Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. *Bioresource Technology*. 2018;270:457–466. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.048>
35. Joshi R., Ahmed S. Status and challenges of municipal solid waste management in India: a review. *Cogent Environmental Science*. 2016;2(1):1139434. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1139434>
36. Ahmad A., Aslam Z., Bellitürk K., Ullah E., Raza A., Asif M. Vermicomposting by bio-recycling of animal and plant waste: A review on the miracle of nature. *Journal of Innovative Sciences*. 2022;8(2):175–187.
DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2022/8.2.175.187>
37. Ahn H. K., Mulbry W., White J. W., Kondrad S. L. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresource Technology*. 2011;102(3):2904–2909.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.142>
-

38. Wu C., Li W., Wang K., Li Yu. Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2015;190:516–521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.104>
39. Awasthi M. K., Duan Y., Awasthi S. K., Liu T., Zhang Z., Kim S.-H., Pandey A. Effect of biochar on emission, maturity and bacterial dynamics during sheep manure composting. *Renewable Energy*. 2020;152:421–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.065>
40. Rahman M. A., Haque S., Athikesavan M. M., Kamaludeen M. B. A review of environmental friendly green composites: production methods, current progresses, and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30:16905–16929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24879-5>
41. Тюрин В. Г., Мысова Г. А., Потемкина Н. Н., Сахаров А. Ю., Кочиш О. И., Бирюков К. Н. Ветеринарно-санитарная оценка современных биотехнологических способов переработки навоза. *Российский журнал «Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии»*. 2022;(2(42)):230–238. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyг.ecol.202202012> EDN: CYXGOZ
42. Nigussie A., Kuiper T. W., Bruun S., de Neergaard A. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:429–439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>
43. Mahapatra S., Samal K., Dash R. R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: a review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*. 2022;308:114668. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>
44. Chen S., Chen X., Xu J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2016;76:105–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005>
45. Yasmin N., Jamuda M., Panda A. K., Samal K., Nayak J. K. Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. *Energy Nexus*. 2022;7:100092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100092>
46. Suthar S., Pandey B., Gusain R., Gaur R. Z., Kumar K. Nutrient changes and biodynamics of *Eisenia fetida* during vermicomposting of water lettuce (*Pistia* sp.) biomass: a noxious weed of aquatic system. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(1):199–207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7770-2>
47. Swati A., Hait S. Greenhouse gas emission during composting and vermicomposting of organic wastes – a review. *Clean – Soil, Air, Water*. 2018;46(6):1700042. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201700042>
48. Amouei A. I., Yousefi Z., Khosrav T. Comparison of vermicompost characteristics produced from sewage sludge of wood and paper industry and household solid wastes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2017;15(1):5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0269-z>
49. Сырчина Н. В., Пилип Л. В., Ашихмина Т. Я. Влияние органических удобрений на содержание микроэлементов в зеленой массе кукурузы. *Химия растительного сырья*. 2024;(1):372–380. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240112298> EDN: QRASQN
50. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry. *Advances in Ecological Research*. 1986;15:379–409.
51. Тимофеева С. С. Современные технологии биоремедиации окружающей среды. *Экология и промышленность России*. 2016;20(1):54–58. DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-54-58> EDN: VLDFJF
52. Васильев Э. В., Егоров С. А., Максимов Д. А., Романов А. С., Шалавина Е. В. Оценка образования побочной продукции животноводства и потерь углерода, азота с газовым выбросом при аэробной биоферментации. *Аграрный научный журнал*. 2025;(2):123–132. DOI: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp123-132> EDN: WHMIPU
53. Миклашевский Н. В., Бекренев А. В. Теоретические предпосылки разработки технологии очистки жидкой фракции при сепарации навозных масс свиного комплекса промышленного типа. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2023;(3(72)):91–98. DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-3-91-98> EDN: XALILX

References

1. Vetchinnikov D. V. Cost-effective strategies for recycling agricultural waste. *Vestnik Moskovskogo finansovo-yuridicheskogo universiteta MFYuA*. 2022;(3):216–230. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52210/2224669X_2022_3_216
2. Bychkova E., Rozhdestvenskaya L., Podgorbunskikh E., Kudachyova P. The problems and prospects of developing food products from high-protein raw materials. *Food Bioscience*. 2023;56:103286. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2023.103286>
3. Shalavina E. V., Vasilev E. V., Uvarov R. A. Methods for environmentally safe use of animal/poultry manure on private farms in the Leningrad region. *AgroEkoInzheneriya = AgroEcoEngineering*. 2021;(3(108)):128–140. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-128-140>
4. Kovalev N. G., Gridnev P. I., Gridneva T. T. Scientific support for the development of environmentally safed systems of manure utilization. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;(1(50)):62–69. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25476143>

5. Bryukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Shalavina E. V. Scientific and technical support for solving the tasks of the Federal Law No. 248 on by-products of animal husbandry. Scientific and information support for the innovative development of the agro-industrial complex: collection of Proceedings of the XVth International Scientific and Practical Conference. Moscow: *Rosinformagrotekh*, 2023. С. 55–61. URL: <https://elibrary.ru/fwuczi>
6. Pozdnyakov Sh. R., Bryukhanov A. Yu., Kondratyev S. A., Ignatyeva N. V., Shmakova M. V., Minakova E. A. et al. Prospects for reducing the removal of nutrients from river catchments through the introduction of the best available agricultural production technologies (based on modeling results). *Vodnye resursy* = Water Resources. 2020;47(5):588–602. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0321059620050168>
7. Kondratyev S. A., Ershova A. A., Ekholm P., Viktorova N. V. Nutrient load from the Russian territory on the gulf of Finland. *Fundamental'naya i prikladnaya gidrofizika* = Fundamental and Applied Hydrophysics. 2019;12(2):77–87. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S2073667319020096>
8. Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. Chemical land degradation under the influence of animal husbandry waste. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2022;(3):219–225. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2022-3-219-225>
9. Bryukhanov A. Yu., Vasilyev E. V., Shalavina E. V., Okhtilev M. Yu., Koromyslichenko O. V. An instrument for environmental state and agricultural production's sustainable development monitoring. *Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve* = Machinery and technologies in livestock. 2023;1(49):78–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/27132064-2023-1-78>
10. Shalavina E. V., Vasilev E. V. Improving the environmental safety through the development of technological regulations for processing and application of by-products. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2023;(1(114)):141–154. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-1114-141-154>
11. Bryukhanov A. Yu., Romanovskaya A. A., Shalavina E. V., Vasilyev E. V., Vertyankina V. Yu. Effect of animal and poultry manure processing technologies on greenhouse gas emissions. *Inzhenernye tekhnologii i sistemy* = Engineering Technologies and Systems. 2024;34(4):563–583. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202404.563-583>
12. Vtoryi V.F., Vtoryi S.V. Sources of carbon dioxide emissions on a cattle dairy farm. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):572–579. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.572-579>
13. Romantseva Yu. N., Bodur A. M., Maslakova V. V., Kagirowa M. V. Analysis of the dynamics and structure of greenhouse gas emissions in Russian agriculture. *Agrarnaya nauka*. 2024;(2):139–145. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-379-2-139-145>
14. Akhmetshina L. G. Opportunities for Russian agriculture to reduce greenhouse gas emissions and adapt to climatic changes. *Vestnik Altayskoy akademii ekonomiki i prava*. 2022;(4-1):5–14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17513/vaael.2129>
15. Al-Sulaimi I. N., Nayak J. K., Alhimali H., Sana A., Al-Mamun A. Effect of volatile fatty acids accumulation on biogas production by sludge-feeding thermophilic anaerobic digester and predicting process parameters. *Fermentation*. 2022;8(4):184. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation8040184>
16. Vasilev E. V., Shalavina E. V. Approach to development of recycling technologies for liquid organic waste generated in animal husbandry. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2022;(3(112)):97–109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2022-3112-97-108>
17. Vasilyev E. V., Maksimov D. A., Shalavina E. V. Research results of biothermal fermentative processing of organic waste from a pig rearing complex with assessment of emissions generated. *Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy. 2023;3(63):200–206. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2023-3-200-206>
18. Uvarov R. A., Shalavina E. V., Vasilev E. V. Tekhnologii uti-lizatsii navoza v regione Baltiyskogo morya: Analiz i nametivshiesya tendentsii. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2021;(3(108)):117–128. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-3108-117-128>
19. Zenikov V. I. Promising technology for aerobic fermentation of by-products from agriculture and other industries. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2024;3:69–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500208224030153>
20. Baltic Slurry Acidification: Market potential analysis. Edd. S. Neumann, M. Zacharias, R. Stauss, et al. Uppsala: RISE – Research Institutes of Sweden, 2017. 140 p.
21. Khamitov E. A. Strategy for improving the efficiency of utilization of pig farm manure effluents using decanter centrifuges. *Agrarnyy vestnik Severnogo Kavkaza* = Agrarian Bulletin of the North Caucasus. 2023;(2(50)):45–51. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31279/222-9345-2023-13-50-45-51>
22. Sligan M. E., Gordeev V. V. Comparative evaluation of manure removal systems on cattle farms in the conditions of the northwest of Russia. *AgroEkoInzheneriya* = AgroEcoEngineering. 2024;(3(120)):168–183. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2024-3120-168-183>
23. Zhang F., Yu W., Liu W., Xu Z. The mixed fermentation technology of solid wastes of agricultural biomass. *Frontiers in Energy Research*. 2020;8:50. DOI: <https://doi.org/10.3389/fenrg.2020.00050>
-

24. Ayilara M. S., Olanrewaju O. S., Babalola O. O., Odeyemi O. Waste management through composting: challenges and potentials. *Sustainability*. 2020;12(11):4456. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12114456>
25. Meng X., Sørensen P., Møller H. B., Petersen S. O. Greenhouse gas balances and yield-scaled emissions for storage and field application of organic fertilizers derived from cattle manure. *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 2023;345:108327. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108327>
26. Bryukhanov A. Yu., Popov V. D., Vasilev E. V., Shalavina E. V., Uvarov R.A. Analysis and Solutions to Environmental Problems in Livestock Farming. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(4):48–55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-4-48-55>
27. Li L., Liu Y., Kong Y., Zhang J., Shen Yu., Li G. et al. Relating bacterial dynamics and functions to greenhouse gas and odor emissions during facultative heap composting of four kinds of livestock manure. *Journal of Environmental Management*. 2023;345:118589. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118589>
28. Ellison R. J., Horwath W. R. Reducing Greenhouse Gas Emissions and Stabilizing Nutrients from Dairy Manure Using Chemical Coagulation. *Journal of Environmental Quality*. 2021;50(2):375–383. DOI: <https://doi.org/10.1002/jeq2.20195>
29. Ba S., Qu Q., Zhang K., Groot J. C. J. Meta-analysis of greenhouse gas and ammonia emissions from dairy manure composting. *Biosystems Engineering*. 2020;193:126–137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2020.02.015>
30. Gage J. Checklist for odor management at compost facilities. *BioCycle*. 2003;44(5):42–47.
31. Al-Ghussain L. Global warming: review on driving forces and mitigation. *Environmental Progress and Sustainable Energy*. 2019;38(1):13–21. DOI: <https://doi.org/10.1002/ep.13041>
32. Zhou G., Xu X., Qiu X., Zhang J. Biochar influences the succession of microbial communities and the metabolic functions during rice straw composting with pig manure. *Bioresource Technology*. 2019;272:10–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.135>
33. Awasthi M. K., Zhang Z., Wang Q., et al. New insight with the effects of biochar amendment on bacterial diversity as indicators of biomarkers support the thermophilic phase during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2017;238:589–601. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.04.100>
34. Han Z., Sun D., Wang H., Li R., Bao Zh., Qi F. Effects of ambient temperature and aeration frequency on emissions of ammonia and greenhouse gases from a sewage sludge aerobic composting plant. *Bioresource Technology*. 2018;270:457–466. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.09.048>
35. Joshi R., Ahmed S. Status and challenges of municipal solid waste management in India: a review. *Cogent Environmental Science*. 2016;2(1):1139434. DOI: <https://doi.org/10.1080/23311843.2016.1139434>
36. Ahmad A., Aslam Z., Bellitürk K., Ullah E., Raza A., Asif M. Vermicomposting by bio-recycling of animal and plant waste: A review on the miracle of nature. *Journal of Innovative Sciences*. 2022;8(2):175–187. DOI: <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2022/8.2.175.187>
37. Ahn H. K., Mulbry W., White J. W., Kondrad S. L. Pile mixing increases greenhouse gas emissions during composting of dairy manure. *Bioresource Technology*. 2011;102(3):2904–2909. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2010.10.142>
38. Wu C., Li W., Wang K., Li Yu. Usage of pumice as bulking agent in sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2015;190:516–521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.03.104>
39. Awasthi M. K., Duan Y., Awasthi S. K., Liu T., Zhang Z., Kim S.-H., Pandey A. Effect of biochar on emission, maturity and bacterial dynamics during sheep manure compositing. *Renewable Energy*. 2020;152:421–429. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.01.065>
40. Rahman M. A., Haque S., Athikesavan M. M., Kamaludeen M. B. A review of environmental friendly green composites: production methods, current progresses, and challenges. *Environmental Science and Pollution Research*. 2023;30:16905–16929. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-24879-5>
41. Tyurin V. G., Mysova G. A., Potemkina N. N., Sakharov A. Yu., Kochish O. I., Biryukov K. N. Veterinary and sanitary assessment of modern biotechnological methods of manure processing. *Rossiyskiy zhurnal «Problemy veterinarnoy sanitarii, gigieny i ekologii»* = The Russian journal «Problems of Veterinary Sanitation, Hygiene and Ecology». 2022;(2(42)):230–238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.san.hyg.ecol.202202012>
42. Nigussie A., Kuyper T. W., Bruun S., de Neergaard A. Vermicomposting as a technology for reducing nitrogen losses and greenhouse gas emissions from small-scale composting. *Journal of Cleaner Production*. 2016;139:429–439. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.08.058>
43. Mahapatra S., Samal K., Dash R. R. Waste Stabilization Pond (WSP) for wastewater treatment: a review on factors, modelling and cost analysis. *Journal of Environmental Management*. 2022;308:114668. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2022.114668>
44. Chen S., Chen X., Xu J. Impacts of climate change on agriculture: Evidence from China. *Journal of Environmental Economics and Management*. 2016;76:105–124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jeem.2015.01.005>
45. Yasmin N., Jamuda M., Panda A. K., Samal K., Nayak J. K. Emission of greenhouse gases (GHGs) during composting and vermicomposting: Measurement, mitigation, and perspectives. *Energy Nexus*. 2022;7:100092. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.nexus.2022.100092>

46. Suthar S., Pandey B., Gusain R., Gaur R. Z., Kumar K. Nutrient changes and biodynamics of *Eisenia fetida* during vermicomposting of water lettuce (*Pistia* sp.) biomass: a noxious weed of aquatic system. *Environmental Science and Pollution Research*. 2017;24(1):199–207. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11356-016-7770-2>
47. Swati A., Hait S. Greenhouse gas emission during composting and vermicomposting of organic wastes – a review. *Clean – Soil, Air, Water*. 2018;46(6):1700042. DOI: <https://doi.org/10.1002/clen.201700042>
48. Amouei A. I., Yousefi Z., Khosrav T. Comparison of vermicompost characteristics produced from sewage sludge of wood and paper industry and household solid wastes. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*. 2017;15(1):5. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40201-017-0269-z>
49. Syrchina N. V., Pilip L. V., Ashikhmina T. Ya. The effect of organic fertilizers on the content of trace elements in the green mass of corn. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2024;(1):372–380. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.20240112298>
50. Hartenstein R. Earthworm Biotechnology and Global Biogeochemistry. *Advances in Ecological Research*. 1986;15:379–409.
51. Timofeeva S. S. Modern Technologies of Bioremediation for Environment. *Ekologiya i promyshlennost' Rossii* = Ecology and Industry of Russia. 2016;20(1):54–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18412/1816-0395-2016-1-54-58>
52. Vasilyev E. V., Egorov S. A., Maksimov D. A., Romanov A. S., Shalavina E. V. Estimation of animal by-products formation and carbon and nitrogen loss with gas emission during aerobic fermentation. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2025;(2):123–132. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2025i2pp123-132>
53. Miklashevskiy N. V., Bekrenev A. V. Theoretical background of the development of the technology for cleaning the liquid fraction when separating manure masses of industrial type pig farms. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University. 2023;(3(72)):91–98. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2023-3-91-98>

Сведения об авторах

✉ **Голембовский Владимир Владимирович**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, Российская Федерация, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3124-0587>, e-mail: vvh26@yandex.ru

Коровин Андрей Анатольевич, доктор мед. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, Российская Федерация, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2565-1149>

Сергеева Наталья Владимировна, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт овцеводства и козоводства – филиал ФГБНУ «Северо-Кавказский федеральный научный аграрный центр», пер. Зоотехнический, 15, г. Ставрополь, Российская Федерация, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7077-3960>

Information about the authors

✉ **Vladimir V. Golembovski**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, 15, Zootechnical Lane, Stavropol, Russian Federation, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3124-0587>, e-mail: vvh26@yandex.ru

Andrey A. Korovin, DSc in Medical Science, leading researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, 15, Zootechnical Lane, Stavropol, Russian Federation, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-2565-1149>

Natalia V. Sergeeva, PhD in Biology, senior researcher, All-Russian Research Institute of Sheep and Goat Breeding – branch of the North Caucasian Agrarian Center, 15, Zootechnical Lane, Stavropol, Russian Federation, 355017, e-mail: info.vniok@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7077-3960>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1159-1175>

УДК 631.8.022.3

Оценка состояния и перспективы развития внутреннего рынка минеральных удобрений в России© 2025. К. К. Кумехов¹ ✉, Р. О. Холбеков², Э. Н. Белозорова³¹Одинцовский филиал ФГАОУ ВО «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации», г. Одинцово, Московская обл., Российская Федерация,²Ташкентский государственный экономический университет, г. Ташкент, Республика Узбекистан,³ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», г. Москва, Российская Федерация

В условиях надвигающегося мирового продовольственного кризиса интенсификация производства продуктов питания становится вопросом не столько коммерческим, сколько фактором выживания всего человечества. В разрешении этой проблемы велика роль стран, обладающих ресурсами и соответствующей базой производства минеральных удобрений – важнейшего компонента интенсификации растениеводства. Цель работы – исследовать состояние экспорта и внутреннего использования минеральных удобрений, в частности установить причины сокращения внутреннего потребления минеральных удобрений, а также рассчитать экономические выгоды при различных сценариях их использования. В процессе исследования исходили из положений нормативно-правовых документов, выводов, содержащихся в научных статьях, монографиях, статистических данных и экспертных мнениях по вопросам производства и использования минеральных удобрений в современной России. К полученным в ходе исследования результатам, обладающим научной новизной, можно отнести: расчёт перспективной ёмкости отечественного рынка минеральных удобрений с учётом ввода в оборот ныне неиспользуемых площадей пашни и доведения норм внесения минеральных удобрений до уровня, предусмотренного оптимальным сценарием внутреннего использования; результаты сравнительного анализа экспорта минеральных удобрений и их внутреннего использования, которые убедительно демонстрируют преимущества роста внутреннего потребления и его экономический эффект, который только по зерновым определён в размере 982,4 млрд руб. в год. Практическая значимость результатов исследования состоит в том, что они могут быть использованы при разработке «дорожной карты» реструктуризации использования минеральных удобрений по направлению увеличения внутреннего потребления за счет сокращения их экспорта.

Ключевые слова: экспорт минеральных удобрений, внутренний рынок минеральных удобрений, направления развития рынка минеральных удобрений

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: Кумехов К. К., Холбеков Р. О., Белозорова Э. Н. Оценка состояния и перспективы развития внутреннего рынка минеральных удобрений в России. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2025;26(5):1159–1175. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1159-1175>

Поступила: 14.01.2025

Принята к публикации: 13.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Assessment of the state and development prospects of the domestic market of mineral fertilizers in Russia© 2025. Konstantin K. Kumekhov¹ ✉, Rasul O. Kholbekov², Elvira N. Belozorova³¹The branch of the Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation in the town of Odintsovo, Odintsovo, Moscow region, Russian Federation²Tashkent State University of Economics, Tashkent, The Republic of Uzbekistan,³Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russian Federation

In the context of the looming global food crisis, the intensification of food production is becoming not so much a commercial issue as a factor of survival for all of humanity. The role of countries with the necessary resources and production capabilities for mineral fertilizers, which is a key component of the intensification process in crop production, is becoming

increasingly important in addressing this challenge. The aim of the research was to study the state of exports and domestic use of mineral fertilizers, in particular, to identify the reasons for the decrease in domestic consumption of mineral fertilizers, and to calculate the economic benefits of various scenarios for their use. The research was based on the regulatory documents, conclusions contained in scientific articles, monographs, statistical data, and expert opinions on the production and use of mineral fertilizers in modern Russia. The results of the study, which are scientifically novel, include: the calculation of the prospective capacity of the domestic mineral fertilizer market, taking into account the introduction of currently unused arable land and the reduction of mineral fertilizer application rates to the level stipulated by the optimal scenario for domestic use; the results of a comparative analysis of mineral fertilizer exports and domestic use, which clearly demonstrate the benefits of increasing domestic consumption and its economic impact, which is estimated at 982.4 billion rubles per year for grain alone. The practical significance of the research results is that they can be used in the development of a "road map" for restructuring the use of mineral fertilizers in order to increase domestic consumption by reducing their export.

Keywords: export of mineral fertilizers, domestic market of mineral fertilizers, directions of development of the mineral fertilizers market

Acknowledgements: the work was done without financial support in the framework of the initiative topics.

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

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

For citation: Kumekhov K. K., Kholbekov R. O., Belozorova E. N. Assessment of the state and development prospects of the domestic market of mineral fertilizers in Russia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1159–1175. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1159-1175>

Received: 14.01.2025

Accepted for publication: 13.10.2025

Published online: 31.10.2025

Дальнейшее развитие сельского хозяйства и связанных с ним отраслей экономики в современном мире невозможно без их интенсификации. Внедрение последних достижений в области цифровых технологий и искусственного интеллекта [1], которые выступают в форме инструментов реализации выбранных стратегий в процессе управления, не решают проблемы. В то же время достаточное обеспечение сельхозпроизводителей минеральными удобрениями (МУ) в решении этой задачи выступает как фактор прямого воздействия, обеспечивающий значительный прирост продуктивности полей и улучшение плодородия почвы. В условиях, когда в ближайшие годы по прогнозам ООН ожидается рост численности населения Земли с нынешних 7,6 до 9 млрд человек к 2050 г.¹ значение данного фактора кратно возрастает. Поэтому в ближайшие годы и долгосрочной перспективе следует ожидать дальнейшего роста спроса на МУ вне зависимости от темпов развития других технико-экономических факторов.

В таких условиях Правительство РФ встает перед дилеммой – наращивать в дальнейшем производство МУ, ориентируясь в основном на экспорт этого важнейшего сырья, или перенаправить каналы реализации на внутренних

потребителей, которые в нынешних экономических условиях и в обозримом будущем вряд ли смогут освоить без государственной помощи производственные возможности производителей МУ? Надо признать, что с принятием «дорожной карты»² по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 г. нашим Правительством выбор сделан. Несмотря на это, проблема остается дискуссионной.

Цель работы – исследовать состояние экспорта и внутреннего использования минеральных удобрений, в частности установить причины сокращения внутреннего потребления минеральных удобрений, а также рассчитать экономические выгоды при различных сценариях их использования.

Для ее достижения поставлены следующие задачи:

- изучить нормативно-правовые предпосылки формирования нынешней политики в области реализации МУ на внутреннем и внешнем рынках;
- провести экономический анализ объемов производства и использования минеральных удобрений за 2021–2023 г. и на его основе определить соотношение экспорта и внутреннего потребления;

¹Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий: монография. Под общ. ред. Д. О. Скоблева. М., СПб.: изд-во «Центр экологической промышленной политики», 2019. С. 824.

²Распоряжение Правительства РФ от 29 марта 2018 г. № 532-р «О плане мероприятий ("дорожная карта") по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года». [Электронный ресурс].

URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71811704/> (дата обращения: 15.08.2024).

- исследовать потенциальные возможности наращивания производства основных сельскохозяйственных культур за счет роста применения МУ, основанные на трудах ведущих ученых в этой области;

- на примере возможного прироста валового сбора зерновых за счет роста внесения МУ, а также расширения ныне неиспользуемой пашни произвести расчет экономической отдачи этих мероприятий и сделать вывод об их целесообразности.

Научная новизна – на основании анализа экспорта и внутреннего потребления минеральных удобрений при сложившихся объемах производства обоснована необходимость их изменения в сторону увеличения внутреннего потребления;

- произведен расчёт перспективной ёмкости отечественного рынка минеральных удобрений с учётом ввода в оборот ныне неиспользуемых площадей пашни и доведения норм внесения минеральных удобрений до оптимального уровня, предусмотренного сценарием внутреннего использования;

- при расчете емкости внутреннего рынка МУ применены два фактора роста – увеличение дозы внесения МУ и использование потенциала ныне неиспользуемых посевных площадей;

- на примере зерновых культур произведен расчёт возможного экономического эффекта от роста объемов производства за счет увеличения дозы внесения МУ и расширения посевных площадей за счет ныне неиспользуемой пашни, которые убедительно демонстрируют преимущества роста внутреннего потребления и его экономический эффект, который только по зерновым определен в размере 982,4 млрд руб. в год.

Практическая значимость исследования заключается в том, что его результаты могут быть использованы при разработке направлений «дорожной карты» изменения соотношения экспорта и внутреннего потребления МУ, с целью повышения экономических выгод.

Материал и методы. В качестве основных научных методов исследования использованы монографический, анализа, синтеза, сравнений,

расчетный и другие. В ходе работы возникли проблемы, связанные со сбором и обработкой необходимой информации, полученной из различных источников. К ним можно отнести:

- наличие расхождений в одних и тех же показателях, полученных из разных информационных источников, в том числе официальных (Росстата, Минсельхоза, Минпромторга и др.);

- использование в официальных и неофициальных отчетах для отражения одних и тех же показателей разных измерителей (в частности, *физических тонн* и *тонн действующего вещества*), что приводило к необходимости использования коэффициента перевода и тем самым искажало показатели;

- невозможность учета использования «технологий дифференцированного применения удобрений» [2] и их влияния на урожайность, которые существенно различаются по регионам;

- невозможность использования методов экономической оценки эффективности, в частности роста урожайности при разных нормах внесения МУ в разных условиях (ограниченных масштабах, разных экономических зонах, разном уровне оснащенности техническими средствами и уровне мелиорации) для оценки в масштабах экономики в целом, что объективно приводит к возможным искажениям в выводах.

Указанные ограничения существенно влияют на возможности исследователя в получении релевантной информации, в отсутствие которой многие эксперты ожидаемо сетуют на необходимость поддержания конкурентоспособности отечественных предприятий на мировом рынке, от которой напрямую зависят «производственные показатели промышленности минеральных удобрений» [3, с. 9].

Результаты и их обсуждение. На мировом рынке МУ российские производители занимают прочные позиции, которые они не намерены уступать конкурентам и в будущем. Это подтверждают прогнозы Российской ассоциации производителей удобрений (РАПУ), согласно которым уже «в 2024 году производство удобрений составит 65,2 млн тонн, а экспортные поставки достигнут 44 млн тонн»³.

³Российские производители удобрений ожидают увеличения экспорта на 10 %. [Электронный ресурс]. URL: <https://sber.pro/publication/rossiiskie-proizvoditeli-udobrenii-ozhidayut-uvelicheniya-eksporta-na-10/> (дата обращения: 15.08.2024).

Для этого производителями минеральных удобрений заявлено более 30 инвестиционных проектов по созданию новых и расширению существующих предприятий. После их реализации производство «до 2030 года достигнет 80 млн тонн»⁴. При этом «основная часть производимых в Российской Федерации минеральных удобрений поставляется на экспорт ввиду ограниченных объемов потребления на внутреннем рынке (71 % – экспортные поставки, 29 % – внутренний рынок, в т. ч. как сырье для производства сложных удобрений)»⁵.

Экономическая целесообразность такой политики вызывает множество вопросов со стороны сельхозтоваропроизводителей, ученых-агротехнологов и экономистов, которые считают, что гораздо важнее наращивать собственное потребление МУ, способное обеспечить прирост производства продукции сельского хозяйства по сумме, кратно превышающей выручку от экспорта МУ. Эти доводы основаны на том, что в настоящее время уровень внесения удобрений на 1 га посевной площади в России гораздо ниже, чем в развитых странах, причем в разных регионах России этот показатель существенно отличается. К примеру, по данным Росстата, средний уровень внесения в 2016 году по России составил 48,8 кг в физ. весе на 1 гектар, тогда как в Центральном федеральном округе (ЦФО), Северо-Кавказском федеральном округе (СКФО) и Южном федеральном округе (ЮФО) данный показатель составил соответственно 88,3 кг, 83,4 и 76,7 кг на 1 гектар. Поэтому «дальнейший рост потребления минеральных удобрений потребует интенсификации сельского хозяйства в Северо-Западном федеральном округе, Дальневосточном федеральном округе, Приволжском федеральном округе, Уральском федеральном округе и Сибирском федеральном округе»⁶. В целом потенциал внутреннего рынка далеко

не исчерпан и «зависит от финансовых возможностей сельскохозяйственных организаций» [4, с. 383], которые по тем или иным причинам не могут выйти на достаточный уровень самофинансирования.

В пользу необходимости перелома в сторону приоритетного обеспечения внутренних потребителей МУ говорит наметившийся за последние годы тренд на снижение объемов продукции сельскохозяйственного производства, особенно в зерновом производстве, как базовой отрасли в странах Евразийского экономического союза (ЕАЭС). Так, по итогам 2023 г. зафиксировано снижение производства сельскохозяйственной продукции на 1,1 % по сравнению с 2022 г. (табл. 1). В 2023 г. рост валового производства по сравнению с 2022 г. зафиксирован только в Беларуси (+1,1 %) и Киргизии (+0,6 %), тогда как в Казахстане и РФ показатель снизился на 7,7 и 0,3 % соответственно⁷. Такая нестабильность в производстве наряду с иными причинами, во многом обусловлена недостаточным использованием МУ в странах сообщества. Исключение составляют Армения и Беларусь, где вносится соответственно 203,7 и 169,4 кг/га в физическом весе, что примерно соответствует уровню Европейских стран⁸, где средний показатель за 2021 г. составил 186,4 кг/га.

В Армении относительно высокий уровень внесения связан с преобладанием в севооборотах овощных культур, требующих большого количества минеральных добавок. В Беларуси это связано с государственной политикой, ориентированной на первоочередное обеспечение собственных потребителей. В Казахстане уровень внесения МУ составляет всего 4,4 кг/га, что объясняется отсутствием собственного производства и денежных средств на импорт этого ценного сырья.

⁴Выпуск удобрений в России к 2030 году может вырасти на 27% – до почти 80 млн тонн. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrarnayanauka.ru/vypusk-udobrenij-v-rossii-k-2030-godu-mozhet-vyrasti-na-27-do-pochti-80-mln-tonn/> (дата обращения: 15.08.2024).

⁵URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71811704/>

⁶URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71811704/>

⁷Общая информация о ЕЭК. [Электронный ресурс].

URL: <https://eec.eaeunion.org/comission/about/?ysclid=m2u567yzi9847312106> (дата обращения: 15.08.2024).

⁸Использование удобрений в Европе. [Электронный ресурс].

URL: https://ru.theglobaleconomy.com/rankings/fertilizer_use/Europe (дата обращения: 15.08.2024).

Таблица 1 – Показатели объёмов сельскохозяйственного производства и использования минеральных удобрений в странах ЕАЭС за 2021 г.⁹ /

Table 1 – Indicators of agricultural production volumes and use of mineral fertilizers in the EurAsEC countries for 2021

Показатель / Indicator	Армения ¹⁰ / Armenia	Беларусь / Belarus	Казахстан / Kazakhstan	Кыргызстан / Kyrgyzstan	Россия / Russia
Посевная площадь, тыс. га / Sowing area, thousand hectares	227	5747	22926	1297	80437
в т. ч. зерновых, тыс. га / Including grain crops, thousand hectares	125	2490	16108	713	47006
Валовой сбор зерна (вес после доработки), тыс. т / Gross grain harvest (weight after completion), thousand tons	153	7320	16376	1461	121397
Урожайность зерновых, ц/га / Grain yield, c/ha	12,24	29,4	10,2	20,5	25,8
Производство минеральных удобрений, тыс. т в физ. весе / Production of mineral fertilizers, thousand tons in physical weight	-	8376,1	1301,6	-	58800
Экспорт минеральных удобрений, тыс. т в физ. весе / Export of mineral fertilizers, thousand tons in physical weight	-	13879,5	349,8	2,1	37500,0
Импорт минеральных удобрений, тыс. т в физ. весе / Import of mineral fertilizers, thousand tons in physical weight	34	19,8	133,5	98,6	55,2
Выручка от экспорта минеральных удобрений, млн дол. США / Revenue from the export of mineral fertilizers, million US dollars	-	2884,2	132,9	-	12110,88
Цена 1 т. экспорта минеральных удобрений, дол. США за т / The price of 1 t of export mineral fertilizers, US dollars per ton.	-	207,8	379,9	-	331,4
Внесено минеральных удобрений на 1 га в физ. весе, кг/га / Applied mineral fertilizers per 1 hectare in physical weight, kg/ha	203,7 ¹¹	169,4	4,4	22,6	25,3 ¹²
Средняя цена на зерно на мировом рынке, дол. США за т ¹³ / The average price of grain on the world market, US dollars per ton	300	300	300	300	300

Источник: Составлено авторами на основании данных Евразийского центра по продовольственной безопасности и других источников /

Source: Compiled by the authors based on data from the Eurasian Center for Food Security and other sources

Отставание по этому показателю РФ и Казахстана чаще всего объясняется сложившейся мировой конъюнктурой рынка, когда цены на зерно сравнивались с ценами на МУ (табл. 1), а получаемый за счет их применения экономический эффект (прирост урожайности от 8 до 22 %) не покрывает, даже произведенные

расходы. Однако здесь не учитываются, по крайней мере, три фактора:

1. Сокращение площадей орошаемой пашни [5], многолетних насаждений, кормовых угодий¹⁴ существенно уменьшает потенциал для роста внутреннего применения минеральных удобрений.

⁹Евразийский центр по продовольственной безопасности. [Электронный ресурс].

URL: <https://ecfs.msu.ru/about/focus-area/> (дата обращения: 15.08.2024).

¹⁰Урожайность в Армении в 2021 году заметно снизилась – данные. [Электронный ресурс].

URL: <https://am.sputniknews.ru/20220302/urozhaynost-v-armenii-v-2021-godu-zametno-snizilas-39285006.html?ysclid=mgngqv78m9366249173> (дата обращения: 15.08.2024).

¹¹Использование удобрений – Классация стран. [Электронный ресурс].

URL: https://ru.theglobaleconomy.com/rankings/fertilizer_use/Asia/ (дата обращения: 15.08.2024).

¹²Там же.

¹³Мировой рынок зерновые культуры. [Электронный ресурс].

URL: <https://aemcx.ru/wp-content/uploads/2022/02/> (дата обращения: 16.08.2024).

¹⁴Российская академия наук. Аналитическая записка. «Земельный потенциал России: состояние, проблемы и меры по его рациональному использованию и охране». [Электронный ресурс].

URL: <https://www.ras.ru/FStorage/Download.aspx?id=5e5ba20e-8e6f-440b-8e17-5b52118fe86c> (дата обращения: 16.08.2024).

2. Недостаточный уровень технического и технологического оснащения производства в растениеводстве, в частности отсутствие достаточного количества тракторов, комбайнов [6], гидромелиоративной техники, стационарных оросительных систем и др., который также существенно снижает эффективность применения минеральных удобрений.

3. Отсутствие релевантных методик подсчета экономических эффектов от применения МУ, отражающихся на результатах деятельности в животноводстве, перерабатывающей промышленности, легкой промышленности и т. д.

Даже в таких условиях внесение достаточного количества МУ с учетом агрохимического состава почвы, предшественников и уровня кислотности, при достаточном увлажнении в разных районах РФ обеспечивает по разным оценкам прирост урожайности только по зерновым в среднем 8,5 до 32 %.

Нельзя не учитывать также фактор роста популярности органической продукции растениеводства, причиной которого стали «экологические и пищевые кризисы» [7, с. 194]. Несмотря на то, что при производстве органической продукции расходы на МУ сводятся к минимуму, это не обеспечивает ее низкую себестоимость из-за относительно небольшой урожайности. В то же время в разных регионах «ежегодное применение МУ увеличило продуктивность зерновых культур на 16,8 %, от органических удобрений она повысилась на 2,1–6,5 %, а при совместном использовании извести, сапропеля и азотно-фосфорного удобрения – на 18,5–22,1 % до 6,41 т/га» [8, с. 18].

Доказано также, что «при правильном использовании азотных удобрений можно достичь их рентабельного применения, даже в жестких экономических условиях» [9, с. 27]. Кроме этого, «увеличение дозы минеральных удобрений в опыте способствовало росту урожайности зерна озимой пшеницы, например, в зернопаропропашном севообороте с черным паром – с 4,39 т/га на неудобренном фоне до 6,19 т/га при внесении NPK–100 кг д. в./га» [10, с. 111]

На опытных участках, где применяли дифференцированные технологии применения МУ, при уровне затрат на минеральные удобрения в сумме 7711,2 руб/га прибавка урожая в суммовом выражении составила 21280,0 руб. [11].

Кроме этого, использование технологически обоснованных норм внесения МУ в целом повышает отдачу используемых севооборотов и приводит к улучшению структуры почвы.

Приведенные исследования указывают на большую роль в обеспечении продовольственной безопасности, прописанной в Доктрине 2010 г.¹⁵, и на необходимость наращивания внутреннего потребления МУ, причем рост потребления должен происходить с учетом приведения дифференцированной дозы их внесения до уровня агротехнологических требований, а также за счет введения в оборот ныне неиспользуемой пашни. Безусловно это потребует соответственного сокращения их экспорта.

На сегодняшний день экспорт МУ является главенствующим направлением их использования. За период с 2019 по 2023 год объем экспорта составил от 33,2 до 37,5 млн т в физическом весе (табл. 2).

Такой уровень планируется сохранить и в будущем. Согласно целевым показателям реализации плана мероприятий ("дорожной карты") по развитию производства минеральных удобрений на период до 2025 года, доля экспорта в размере 75 % от общего объема производства сохранится¹⁶.

Сторонники сохранения высокого уровня экспорта объясняют это необходимостью наращивания экспортной выручки, которая обеспечивается в основном за счет сокращения внутреннего потребления, которое по всем видам удобрений составляет – 13,2 % от производства (табл. 3).

В разрезе отдельных видов удобрений наименьшее внутреннее потребление зафиксировано по калийным – 5,7 % от их общего производства, тогда как по азотным и фосфорным удобрениям внутреннее потребление составляет в пределах 17,5 %.

Сложившаяся структура во многом продиктована естественным агрохимическим фоном пахотных земель, которые в наибольшей степени нуждаются в подвижном азоте и усвояемых формах соединений фосфора, а также в комплексном применении МУ с другими агрохимическими мероприятиями. Однако решающим является желание производителей наращивать экспортную выручку. На это указывают академик В. Г. Сычев [12], а также группа ученых во главе с А. М. Алиевым [13].

¹⁵Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утверждена Указом Президента РФ 30 января 2010 г. № 120. Собрание законодательства Российской Федерации. 2010 № 5 Ст. 502.

URL: <http://government.ru/docs/all/71224/> (дата обращения: 18.08.2024).

¹⁶URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71811704/>

Таблица 2 – Производство и экспорт минеральных удобрений в РФ за 2019–2023 гг.¹⁷ /
 Table 2 – Production and export of mineral fertilizers to the Russian Federation in 2019–2023

Показатель / Indicators	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	В среднем / Average
Производство, млн т в физ. весе / Production in million tons in physical weight	51,8	54,8	58,8	54,4	59,8	55,92
Экспорт, млн т в физ. весе / Export in million tons in physical weight	35,2	34,9	37,5	33,2	33,9	34,94
Доля экспорта к уровню производства, % / Export share to production level, %.	68,0	63,7	63,8	61,0	56,7	56,7

Источник: Составлено авторами на основании данных Росстата и Минпромторга /
 Source: Compiled by the authors based on data from Rosstat and the Ministry of Industry and Trade

В настоящее время большинство сельскохозяйственных предприятий из-за отсутствия надлежащего инвестиционного механизма [14] не располагает финансовыми источниками для достаточного самообеспечения МУ из-за их высокой цены.

На основе данных аналитической группы «Деловой профиль» установлена разница в ценах на внутреннем и внешнем рынках, которая представлена в таблице 4.

Экспортная цена определяется конъюнктурой международного рынка МУ, а цена на внутреннем рынке ориентирована на финансовые возможности потребителей. Большое влияние на объем внутреннего рынка оказывает государство, которое компенсирует потребителям часть расходов на приобретение МУ¹⁸.

Несмотря на то, что разница между экспортной и внутренней ценой за анализируемый период по азотным удобрениям варьировала от 4,2 до 32,3 тыс. руб. за т (табл. 4.), в среднем она составила – 11,64 тыс. руб. за т, что составляет 36,06 % от цены экспорта. Соответственно по фосфорным и калийным удобрениям эта разница составила – 18,83 и 14,08 %.

При таких ценах соотношение между объемами экспорта и внутреннего потребления стабилизировалось на уровне примерно 1 к 5 в пользу экспорта. Тем не менее, Росстат отмечался, что за период 2012–2021 гг. общий показатель урожайности зерновых культур вырос

на 42,1 %. Такое положение вызывает множество вопросов, в первую очередь по отношению к предоставляемым органами статистики данным.

Для надлежащей оценки такой ситуации следовало бы обратить внимание на опыт времен СССР, когда основная часть МУ по доступным ценам поставлялась в первую очередь для удовлетворения потребностей отечественных сельхозпроизводителей. В то время из производимых 31,7 млн т действующего вещества в 1990 г.¹⁹ более 16 млн т [15] использовалось внутри страны. Еще раньше, в 1985 г. доля поставок МУ на внутренний рынок составляла 85 %, из которых на долю сельского хозяйства приходилось – 73,3 %. Даже в 1990 году это соотношение оставалось на уровне 71,5 и 69,2 %. Радикальное сокращение началось с 1995 года, когда внутреннее потребление сразу «сократилось до 20 и 16,6 %, и в 2000 г. – до 17 и 11 %, в то время как производство МУ за период с 1990 г. уменьшилось всего на 26 %» [16, с. 70].

Радикальное сокращение внутреннего потребления в те годы во многом объяснялось переходом на рыночные принципы ценообразования, приведшим к снижению в целом цен на продукцию растениеводства, с одной стороны, и, наоборот, росту цен на МУ за счет снятия барьеров на их экспорт.

¹⁷Рынок минеральных удобрений 2023 и перспективы на 2024. [Электронный ресурс]. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-mineralnykh-udobreniy-2023-i-perspektivy-na-2024/?ysclid=m4fcgzmc854438156> (дата обращения: 18.08.2024).

¹⁸Распоряжение Министерства сельского хозяйства и продовольствия Московской области от 15.12.2022 № 19PB-450 «Об утверждении форм документов, необходимых для получения субсидии на приобретение минеральных удобрений в рамках проведения комплекса агротехнологических работ в 2022 году». [Электронный ресурс]. URL: <https://msh.mosreg.ru/dokumenty/normotvorchestvo/normativnopravovye-akty/20-12-2022-16-46-58-rasporyazhenie-ministerstva-selskogo-khozyaystva-i> (дата обращения: 19.08.2024).

¹⁹Производство минеральных удобрений в СССР. [Электронный ресурс]. URL: <https://su90.ru/fertilizer.html#g1> (дата обращения: 19.08.2024).

Таблица 3 – Динамика изменения внутреннего потребления минеральных удобрений в РФ за 2019–2023 гг. (в пересчете на 100% д. в.)²⁰ /
Table 3 – Dynamics of changes in domestic consumption of mineral fertilizers in the Russian Federation for 2019–2023 (in terms of 100 % active ingredient)

Показатель / Indicator	2019 г., тыс. т / thousand tons	в % к итогоу / as a % of total	2020 г., тыс. т / thousand tons	в % к итогоу / as a % of total	2021 г., тыс. т / thousand tons	в % к итогоу / as a % of total	2022 г., тыс. т / thousand tons	в % к итогоу / as a % of total	2023 г., тыс. т / thousand tons	в % к итогоу / as a % of total	Произведено ²¹ в 2023 г., тыс. т / Produced in 2023, thousand tons	Доля внутреннего потребления / Share of domestic consumption	
												по видам в % к внесению / by species in % of the application	к производству, тыс. т / % to production, thousand tons / %
Внесено минеральных удобрений в пересчете на 100% пит. веществ – всего / Applied min. fertilizers in the amount of 100% of nutrients – total	2 723	100	3 045	100	3 313	100	3 393	100	3 452	100	26098	13,2	3 445/100,0
из них / of these:													
азотных / nitrogen	1718	63	1901	62	2082	63	2161	64	2 195	64	12 528	17,5	2 192/63,6
фосфорных (включая фосфо- ритную муку) / phosphoric (including phosphoric flour).	598	22	681	22	748	23	722	21	739	21	4 412	16,8	741/21,5
калийных / potassium	408	15	463	15	482	15	511	15	518	15	9 158	5,7	522/14,9
Внесено в расчете на 1 га посевов, кг всего / Applied per 1 ha of crops, kg total	34,1	-	38,1	X	41,21	-	41,21	-	42,4	-	-	-	-

В итоге обоснование экономической целесообразности сводится к выбору между двумя политиками:

Политика 1. Нарастивания или сохранения нынешнего уровня экспорта МУ в объеме 75 % от производства.

Политика 2. Создания финансовых условий (государственная поддержка, льготное кредитование) при сбалансированных ценах, позволяющих закупать МУ в соответствии с агротехническими потребностями потребителей.

Для получения максимального экономического эффекта для государства, производителей МУ и их потребителей необходима комплексная оценка каждой из этих политик.

Экономический выбор стратегии между двумя указанными политиками должен исходить из аксиомы – *продукция растениеводства по отношению к минеральным удобрениям является продукцией с более высокой добавленной стоимостью*. Это становится очевидным, если принять за основу двухуровневую модель экономической системы, состоящую из противонаправленных потоков материальных и денежных ресурсов, в которой сельское хозяйство выступает как второй цикл технологического передела [17]. Кроме этого, архитектура двухуровневой модели показывает, что любая ресурсообеспеченная экономическая система принесит максимальную эффективность при ориентации на развитие «в себе» [18].

²⁰Внесение минеральных удобрений под посев сельскохозяйственных культур в сельскохозяйственных организациях. [Электронный ресурс]. URL: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Frosstat.gov.ru%2Fstorage%2Fmediabank%2FVnesen_udobren_2023.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK (дата обращения: 15.08.2024).

²¹Росстат РФ. Электронный ресурс. [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/10_31-01-2024.html (дата обращения: 15.08.2024).

Таблица 4 – Разница между ценой на внутреннем рынке и экспортом на минеральные удобрения за 2021–2023 гг. тыс. руб./ т²² /
Table 4 – The difference between the price on the domestic market and the export of mineral fertilizers for 2021–2023 thousand rubles/ ton

Вид минеральных удобрений / Type of mineral fertilizers	Цена за 1 тонну / Price per 1 ton	2021 г.				2022 г.				2023 г.				Средняя цена за период / Average price for the period
		квартал / quarter												
		1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	
Азотные / Nitrogen	Внутреннее использование / Domestic use	12,1	14,3	16,4	19,3	21,2	19,2	18,9	18,4	16,4	13,7	15,3	16,4	16,80
	Экспорт / Export	16,3	19,9	22,7	37	53,5	49	26,3	27,8	24,2	18	22,4	24,2	28,44
	Разница (+ – экспорт; – – внутреннее использование) / The difference (+ – export; – – domestic use)	4,2	5,6	6,3	17,7	32,3	29,8	7,4	9,4	7,8	4,3	7,1	7,8	11,64
	В % к экспорту / As a percentage of exports	25,8	28,1	27,8	47,8	60,4	60,8	28,1	33,8	32,2	23,9	31,7	32,2	36,06
	Внутреннее использование / Domestic use	24,8	28,5	38,9	43,1	43,3	43,2	44,7	39,9	34,6	32,4	33,6	34,5	36,79
Фосфорные / Phosphorous	Экспорт / Export	28,7	39,8	46,8	50	65,6	72,3	50,8	42,9	42,1	37,5	39,4	40,1	46,33
	Разница (+ – экспорт; – – внутреннее использование) / The difference (+ – export; – – domestic use)	3,9	11,3	7,9	6,9	22,3	29,1	6,1	3	7,5	5,1	5,8	5,6	9,54
	В % к экспорту / As a percentage of exports	13,6	28,4	16,9	13,8	34,0	40,2	12,0	7,0	17,8	13,6	14,7	14,0	18,83
	Внутреннее использование / Domestic use	10,4	11,4	15,2	22,5	27,9	32,3	29,4	27,4	26,5	23,7	23,8	24,1	22,88
	Экспорт / Export	11,8	13	20	30,3	39	39,3	34,7	29,8	28,4	24,9	25,6	25,9	26,89
Калийные / Potassium	Разница (+ – экспорт; – – внутреннее использование) / The difference (+ – export; – – domestic use)	1,4	1,6	4,8	7,8	11,1	7	5,3	2,4	1,9	1,2	1,8	1,8	4,01
	В % к экспорту / As a percentage of exports	11,9	12,3	24,0	25,7	28,5	17,8	15,3	8,1	6,7	4,8	7,0	6,9	14,08
	Внутреннее использование / Domestic use	10,4	11,4	15,2	22,5	27,9	32,3	29,4	27,4	26,5	23,7	23,8	24,1	22,88

Источник: Составлено авторами на основании данных компании «Деловой профиль» / Source: Compiled by the authors based on data from «Business Profile» Company.

²²URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-mineralnykh-udobreniy-2023-i-perspektivy-na-2024/?ysclid=m3belq3p5e458471188>

Исходя из этого, в качестве основных факторов обоснования необходимости наращивания внутреннего потребления МУ и улучшения макроэкономических показателей определены:

1. Введение в оборот пахотных земель, которые в результате непродуманных реформ 1990-х оказались невостребованными.

2. Повышение норм внесения МУ до оптимального уровня.

3. Соотношение мировых цен на зерновые и МУ.

Фактор 1. По данным Центрального статистического управления (ЦСУ) СССР, по состоянию на 1 ноября 1982 г. в РСФСР

насчитывалось 219 млн га сельскохозяйственных угодий, из них 133,9 млн га – пашня, в том числе *посевные площади* – около 122 млн га, сенокосы – 24,5 млн. га и 59,3 млн га пастбища²³. К 1995 году площадь обрабатываемой пашни сократилась до 102,5 млн га²⁴, а к 2018–2020 гг. она составила около 80 млн га. По данным за 2023 г. (табл. 5.), посевная площадь составила 81,5 млн га (без посевных площадей новых регионов). В целом без площади пашни новых регионов, а также находящейся под парами, неиспользуемая площадь пашни составит 52,4 млн га, что немного уступает площади пашни Бразилии – 55,4 млн га²⁵.

Таблица 5 – Посевные площади сельскохозяйственных культур (окончательные данные)²⁶, тыс. га. /
Table 5 – Sowing area of agricultural crops (final data), thousand hectares

Показатель / Indicator	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.*	2023 г.*
Вся посевная площадь / The total sowing area	79634	79888	79948	80383	82290	81462
Зерновые и зернобобовые культуры / Grain and leguminous crops	46339	46660	47900	47007	47504	47894
в том числе / including: озимые зерновые / winter grain	16893	17427	18722	17570	18370	17278
Технические культуры / Technical crops	15174	15896	15485	17811	19919	18905
Картофель и овощебахчевые культуры / Potatoes and vegetable crops	1996	1906	1812	1708	1690	1662
Кормовые культуры / Fodder crops	16124	15425	14751	13857	13177	13001

* Здесь и далее данные без учета статистической информации по Донецкой Народной Республике (ДНР), Луганской Народной Республике (ЛНР), Запорожской и Херсонской областям /

*Here and further, data excluding statistical information for the Donetsk People's Republic (DPR), Lugansk People's Republic (LPR), Zaporizhia and Kherson regions

Источник: Составлено авторами на основании данных компании FORKAGRO /

Source: Compiled by the authors based on data from FORKAGRO

Даже по заниженным оценкам Минсельхоза, в настоящее время в РФ не используется порядка 40 млн га сельскохозяйственных угодий. Только в Волгоградской, Саратовской, Оренбургской областях сегодня выведено из оборота

в общей сложности 6,6 млн га пашни, поэтому Минсельхоз намерен активизировать работу по возвращению в оборот пашни. В 2018 году пока намечено вернуть в оборот 155 тыс. га²⁷.

²³ЦСУ СССР. Народное хозяйство СССР в 1982г. Статистический ежегодник. М.: Изд-во «Финансы и статистика», 1983. С. 209.

²⁴Посевные площади всех сельскохозяйственных культур (в хозяйствах всех категорий; тысяч гектаров) [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/bgd/regl/B03_14/IssWWW.exe/Stg/d020/i020610r.htm (дата обращения: 20.08.2024).

²⁵ТОП-20 по площади пахотных земель. [Электронный ресурс]. URL: https://vk.com/wall-189864193_59?z=photo-189864193_457239395%2Falbum-189864193_00%2Frev (дата обращения: 20.08.2024).

²⁶Площадь посевных угодий весеннего счета России в 2024 году уменьшилась до 80 184,5 тыс. га. [Электронный ресурс]. URL: <https://forkagro.com/incubator/v/ploshchad-posevnyh-ugodij-vesennego-scheta-rossii-v-2024-godu-umenshilas-do-80-1845-tys-ga?ysclid=m63gfys9k4298701553> (дата обращения: 20.08.2024).

²⁷В Минсельхоз посчитали, сколько в России пахотных земель. [Электронный ресурс]. URL: <https://yakapitalist.ru/finansy/skolko-v-rossii-pakhotnykh-zemel> (дата обращения: 20.08.2024).

При этом на практике следует учитывать положения программы вовлечения в оборот ныне неиспользуемых земель, принятой Министерством сельского хозяйства Российской Федерации и утверждённой Постановлением Правительства Российской Федерации от 14 мая 2021 г. № 731, которая предусматривает введение в оборот дополнительно 13 млн га, для чего на период 2022–2031 гг. выделено 754,1 млрд руб.

Основные площади посевов за последние годы были заняты зерновыми культурами – 47,9 млн га. Остальная площадь приходилась на технические, кормовые и другие культуры – 18,9 и 13 млн га соответственно.

Наиболее важной, с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности и экспортной выручки культурой на протяжении последних лет является зерно. По данным Минсельхоза России, в прошлом году было вывезено 66 млн т, в том числе 51 млн т пшеницы. В 2024 г. экспортный потенциал оценивается в 70 млн т. Всего в 2023 г. Россия экспортировала продукцию АПК на общую сумму \$43,5 млрд, из которых выручка от продажи зерна составила 37 %²⁸, или \$16,1 млрд²⁹, что сопоставимо с доходами от экспорта удобрений, которые в конце 2023 г. выросли до \$17,7 млрд³⁰.

Показатель по зерну мог быть значительно выше за счет улучшения использования мелиорируемых земель, на которых отдача от использования МУ существенно выше. Однако их значительная часть «по-прежнему, не используется надлежащим образом, а суммарная площадь орошаемых и осушаемых земель все еще сокращается, и отставание от развитых в мелиоративном отношении стран не только сохраняется, но и увеличивается» [19, с. 939].

Фактор 2. На сегодняшний день урожайность основных сельскохозяйственных культур в России «в несколько раз уступает по показателю урожайности таким странам, как США, Китай или Германия» [20, с. 362], в том числе по причине крайне низкого использования минеральных удобрений. На необходимость пересмотра такого положения указывает группа ученых, во главе с В. М. Лапушкиным [21]. Для этого они предлагают рассмотреть четыре варианта удовлетворения внутренних потребностей, изложенных в таблице 6. Предложенный «оптимальный» вариант предполагает увеличение внутреннего потребления более чем в 3 раза – с 7,1 млн т в д. в. (при переводе использован коэффициент перевода – 0,498³¹, что составит 14,3 млн т) до 26 млн т д. в. (52,2 млн т в физ. весе).

Таблица 6 – Потребность земледелия России в минеральных удобрениях в млн т д. в. / физ. весе /
Table 6 – The demand of Russian agriculture for mineral fertilizers in million tons of active substance / phys. weight

<i>Уровень потребности / The level of need</i>	<i>Азотные / Nitrogen</i>	<i>Фосфорные / Phosphorous</i>	<i>Калийные / Potassium</i>	<i>Всего / Total</i>
Минимальный / Minimal	3,2	2,7	1,2	7,1 / 14,3
Поддерживающий / Supportive	4,9	4,7	2,5	11,8 / 23,7
Перспективный / Perspective	6,5	6	3,5	16 / 32,1
Оптимальный / Optimal	10,2	9,1	6,7	26 / 52,2

Источник: Составлено авторами на основании данных исследования группы ученых во главе с В. М. Лапушкиным [21] /
 Source: Compiled by the authors based on data from a study by a group of scientists led by V. M. Lapushkin [21]

²⁸Российский экспорт. [Электронный ресурс]. URL: <https://aemcx.ru/export/rusexport/?ysclid=m4h8d25nms572791567> (дата обращения: 25.08.2024).

²⁹Рост доли экспортируемого зерна не решает проблему затоваривания. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kommersant.ru/doc/6525133> (дата обращения: 25.08.2024).

³⁰URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rynok-mineralnykh-udobreniy-2023-i-perspektivy-na-2024/?ysclid=m4h7xs7nzi565457755>

³¹Методические указания по составлению балансов товарных ресурсов отдельных видов продукции (товаров). Постановление Госкомстата от 30 июня 2000 года N 60. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/> (дата обращения: 25.08.2024).

Расчет прироста внутреннего потребления МУ производился при условии дополнительного ввода в оборот ныне неиспользуемых 40524 тыс. га пашни (121 986 - 81462), с одновременным увеличением дозы внесения к нынешнему уровню в три раза (табл. 7). При расчете потребности мы не изменяли существующей ныне структуры посевных площадей, а также приняли два допущения:

- 1) система снабжения и логистики минеральными удобрениями способна освоить объемы необходимой потребности;
- 2) техническое состояние потребителей соответствует требованиям по их рациональному использованию.

Согласно расчета (табл. 7), прирост внутреннего потребления МУ при оптимальном сценарии вырастет с нынешних 3445 до 15 480 тыс. тонн д. в.

Фактор 3. Рост внутреннего потребления МУ неминуемо приведет к сокращению экспортной выручки. Согласно расчёту (табл. 8), сокращение составит – 1322998 млн руб. Последствия такого радикального сокращения следует рассматривать с позиции интересов государства и производителей минеральных удобрений. В первом случае государство заинтересовано в наиболее полном использовании технологического потенциала производителей минеральных удобрений с максимальным вовлечением в процесс производства всех имеющихся смежных предприятий. Это обеспечит рост валового внутреннего продукта (ВВП) и пополняемость бюджетов разных уровней.

Таблица 7 – Расчет прироста внутреннего потребления и его влияние на экспорт минеральных удобрений
Table 7 – Calculation of the increase in domestic consumption and its impact on the export of mineral fertilizers

Показатель / Indicator	Фактический расход минеральных удобрений / Actual consumption of mineral fertilizers		Удельный вес культур в структуре посевных площадей, % / The specific weight of crops in the structure of acreage, %	Распределение площади неиспользуемых земель по факт. структуре тыс. га * / Distribution of the area of unused lands by actual structure of thousand hectares	Посевная площадь после распределения, тыс. га. / Acreage after distribution, thousand hectares	Расход минеральных удобрений с учетом распределения, тыс. т д. в. / Consumption of mineral fertilizers taking into account the distribution thousand tons of active substances	Прирост расхода минеральных удобрений за счет расширения площадей, тыс. т д. в. / Increase in consumption of mineral fertilizers due to the expansion of the area, thousand tons of active substances	Расход минеральных удобрений с учетом 3-кратного увеличения норм внесения, тыс. т д. в. / Consumption of mineral fertilizers taking into account a 3-increase in the application rates, in thousand tons of active substances	
	кг д. в. на 1 га / kg of active substances per 1 ha	тыс. т д. в. на всю площадь / thousands of tons of actual substances for the total area							
Вся посевная площадь / The total sowing area	81 462	42,3	3 445	100	40 524	121 986	5 160	1 715	15480
Зерновые и зернобобовые культуры / Grain and leguminous crops	47 894	42,3	2 025	58,8	23 828	71 722	3 034	1 009	9102
в том числе: озимые зерновые / including: winter grain	17 278	42,3	731	21,2	8 591	25 869	1 094	363	3283
Технические культуры / Technical crops	18 905	42,3	800	23,2	9 402	28 306	1 197	397	3592
Картофель и овощебаковые культуры / Potatoes and vegetable crops	1 662	42,3	70	2,0	810	2 472	105	35	314
Кормовые культуры / Fodder crops	13 001	42,3	550	16,0	6 484	19 486	824	274	2473

* Разница между фактическими посевными площадями 2023 г. и 1982 г. (по данным ЦСУ ССР на конец 1982 г.) /
* The difference between the actual acreage in 2023 and 1982 (according to the Central Agricultural Commission of the USSR at the end of 1982)

Таблица 8 – Расчет эффективности использования минеральных удобрений при оптимальном сценарии использования потенциала на внутреннем рынке/

Table 8 – Calculation of the efficiency of using mineral fertilizers under the optimal scenario of using the domestic market potential

Показатель / Indicator	Всего / Total	Из них / Of these		
		азотные / nitrogen	фосфорные / phosphorous	калийные / potassium
Производство минеральных удобрений* млн т. д. в. / Production of mineral fertilizers*, million tons of active substances	26,1	12,5	4,4	9,2
Внутреннее использование по оптимальному сценарию млн т / % в структуре использования / Domestic use according to the optimal scenario, million tons / % in the structure of use	17,2 / 100	10,9 / 63,6	3,7 / 21,5	2,6 / 14,9
Экспорт при оптимальном сценарии млн т / Export under the optimal scenario, million tons	8,9	1,6	0,7	6,6
Средняя цена за 1 т тыс. руб. / The average price for 1 ton, thousand rubles	-	28,44	46,33	26,89
Экспорт при оптимальном сценарии млн руб. / Exports under the optimal scenario, million rubles	255 409	45 504	32 431	177 474
Фактический экспорт минеральных удобрений в 2023 г. (17,7 млрд дол. США, средний курс – 90,7659 руб.) / The actual export of mineral fertilizers in 2023 (17.7 billion US dollars, the average exchange rate is 90.7659 rubles)	1 606 556	-	-	-
Сокращение экспорта из-за увеличения внутреннего потребления, млн руб. / Reduction in exports due to increased domestic consumption, million rubles	1 351 147	-	-	-

Источник: Составлено авторами на основе исследования группы ученых, во главе с В. М. Лапушкиным [21] / Source: Compiled by the authors based on a study by a group of scientists led by V. M. Lapushkin [21]

* Использованы данные 2023 г. / 2023 data were used

Однако производители МУ заинтересованы в максимизации своей прибыли и положительных денежных потоков, каналы использования минеральных удобрений их интересуют только с этой позиции. Уменьшение валютной выручки при низком уровне цен на внутреннем рынке и недостаточной государственной поддержке существенно сократит приток денежных средств и прибыль.

Таким образом, налицо конфликт интересов, который частично может быть преодолен за счёт субсидирования бюджетными средствами части расходов потребителей, которое не решит проблемы эффективного взаимодействия в выгоду всех заинтересованных сторон. Необходимость субсидирования – свидетельство ценового диспаритета и структурной неустойчивости экономики, которые могут быть преодолены только при активном участии

государства. Лишь за счет государственного регулирования ценообразования в нынешних условиях можно освоить потенциал внутреннего рынка и решить проблему достаточного обеспечения минеральными удобрениями наших потребителей, которое приведет к росту производства сельскохозяйственной продукции и существенно перекроет потери от снижения экспорта МУ.

Это показывают результаты расчета. В качестве исходных использованы данные по валовому сбору зерновых за 2023 год, который в хозяйствах всех категорий составил 142,6 млн т, из них пшеницы 92,77 млн т, в т. ч. озимой – 63,8 млн т, яровой – 28,97 млн т. «Урожай ячменя составил 21,1 млн т, ржи – 1,7 млн т, кукурузы на зерно – 14,3 млн т, риса – 1,065 млн т, гречихи – 1,48 млн т. Сбор зернобобовых культур составил 5,9 млн т»³².

³²Валовой сбор зерна в 2023 году составил 142,6 млн тонн – Росстат. [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--e1alid.xn--p1ai/journal/publication/3438> (дата обращения: 25.08.2024).

При оптимальном сценарии использования минеральных удобрений, при сохранении всех прочих равных условий (уровень технического обеспечения, использование мелиорируемых земель и др.) и усредненном приросте урожайности за счет повышения доз внесения на 22%, валовой сбор увеличится на 31,4 млн т.

Исходя из этого, ожидаемый прирост валового сбора только зерновых с учетом потенциала неиспользуемых ныне земель и с сохранением структуры может составить – 85,7 млн т зерна.

Расчёт. Ожидаемый прирост валового сбора зерновых (до 22 %) при оптимальном сценарии:

- а) по площади 2023 г. – $142,7 \text{ млн т} \times 22 : 100 = 31,4 \text{ млн т}$;
б) за счет дополнительного прироста площадей –
 $[(31,4 \text{ млн т} + 142,7 \text{ млн т}) : 47894 \text{ тыс. га}] \times 23,8 \text{ млн га} = \mathbf{85,7 \text{ млн т}}$

Простые расчеты показали, что в пересчете на средние цены на зерно 2023 года (300 дол. США за 1 т) выручка составит: $(85,7 \text{ млн т} \times 300 \text{ долл. США}) - 25710 \text{ млн долл. США}$, или (средний курс за 2023 г. – 90,7659 руб.) – **2333591 млн руб.**, что по сравнению с возможными потерями от снижения экспорта (1351147 млн руб. – табл. 8) за тот же год на **982,4 млрд руб.** больше.

Это возможные экономические эффекты только по зерновым. Однако следует еще учитывать эффекты от производства технических культур, в частности подсолнечника и рапса в виде семян и масла, сахарной свеклы, которые также кратно возместят потери от снижения экспорта МУ. Кроме этого, существенно сократится импорт плодоовощной продукции за счет роста урожайности овощных культур внутри страны. Отдельного анализа требует прирост производства кормов, который значительно укрепит кормовую базу и создаст условия для дальнейшего роста животноводства. Указанные доводы с высокой долей вероятности говорят о безусловном преимуществе второго направления развития рынка минеральных удобрений.

Заключение. Проведенный анализ позволяет сделать следующие выводы:

1. Сложившаяся за последние годы практика использования минеральных удобрений на внутреннем и внешнем рынке приводит к сокращению внутреннего потребления (доля внутреннего потребления 13,2 % от производства), что не соответствует интересам государства и потребителей минеральных удобрений, так как приводит к сокращению производства сельскохозяйственной продукции.

2. Основным сдерживающим фактором роста внутреннего рынка МУ является разница между экспортной и ценой на внутреннем рынке, которая существенно ниже (по разным видам удобрений от 14,08 % до 36,06 %).

3. Анализ научных публикаций видных ученых – агротехнологов позволяет сделать вывод о необходимости роста внутреннего потребления минеральных удобрений, что существенно нарастит объемы производства сельскохозяйственной продукции;

4. При расчете оптимального объема потребности внутреннего рынка следует учитывать два фактора прироста – площадь ныне неиспользуемой пашни (составляет более 40 млн га) и, как минимум, трехкратное повышение дозы внесения минеральных удобрений. В первом случае внутренне потребление увеличиться на 1715 тыс. т д. в., во втором на 15480 т д. в.

5. Увеличение внутреннего потребления минеральных удобрений по представленному в исследовании сценарию приведет к сокращению экспортной выручки от продажи минеральных удобрений на 1351147 млн руб., при этом экспортная выручка только от прироста продажи только зерновых культур составит – 2333591 млн руб., что на 982,4 млрд руб. больше потерь от сокращения экспорта минеральных удобрений.

6. Реализация данного направления использования минеральных удобрений может значительно увеличить производство валового внутреннего продукта (ВВП), а также пополняемость бюджетов всех уровней налогами и возможна только при активном участии государства.

Список литературы

1. Голубев А. В. Основы инновационного развития российского АПК: монография. М.: Изд-во РГАУ-МСХА, 2015. 372 с.
2. Артемьев А. А., Гурьянов А. М. Эффективность технологий применения минеральных удобрений при возделывании ярового ячменя в лесостепи Среднего Поволжья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(4):636–645. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.636-645> EDN: CPTTOK
3. Алтухов А. И., Сычев В. Г., Винничек Л. Б. Развитие производства и рынка минеральных удобрений. Плодородие. 2019;(3):6–9. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.02> EDN: LCJCEF
4. Кручинина В. М., Рыжкова С. М. Рынок удобрений в России: состояние и направления развития. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021;83(1):375–384. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46158038> EDN: KBNGMD
5. Васильева Е. А. Организационно-экономическая эволюция гидромелиоративных систем. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Технические науки. 2007;(5):96–100. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13054743> EDN: KZRPMZ
6. Мазлоев В. З., Кумехов К. К., Подсеваткина Е. А. Оценка эффективности механизма государственной поддержки сельского хозяйства (на примере Саратовской области). Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019;(4):6–15. DOI: <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2019-0-4-6-15> EDN: NIUNJJ
7. Уколова Н. В., Фомин Д. И. Современное состояние зернового производства Саратовской области. Russian Economic Bulletin. 2023;6(2):240–246. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52694495> EDN: UNUUUAU
8. Синявский И. В. Оценка зависимости урожайности зерновых культур в севообороте от применения сапропелей, извести, азотного и фосфорного удобрения. Вестник Курганской ГСХА. 2021;(3):13–20. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46715338> EDN: NJVQKE
9. Шафран С. А. Окупаемость затрат на применение азотных удобрений в подкормку озимой пшеницы. Агрохимия. 2020;(2):20–27. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120020143> EDN: KCOICA
10. Дудкина Т. А. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в севооборотах с разными видами пара и при различных уровнях удобрённости. Зерновое хозяйство России. 2023;(2):107–113. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-107-112> EDN: GLLLIJ
11. Артемьев А. А., Лаптев И. П. Агроэкономическая эффективность дифференцированного применения минеральных удобрений в полевом севообороте. Вестник НИИ гуманитарных наук при Правительстве Республики Мордовия. 2024;16(2):28–40. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67991046> EDN: BXHJTS
12. Сычев В. Г. Минеральные удобрения в сельском хозяйстве России: потребность и реальность. Российский химический журнал. 2005;49(3):11–14.
13. Алиев А. М., Варламов В. А., Державин А. М., Самойлов Л. Н., Конова А. М., Переведенцева С. В. Комплексное применение средств химизации в ресурсосберегающих агротехнологиях интенсивного земледелия. Агрохимия. 2011;(11):39–51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17054523> EDN: OJFHVX
14. Мазлоев В. З., Кумехов К. К. Формирование инвестиционного механизма АПК на основе двухуровневой макроэкономической модели. Экономика сельского хозяйства России. 2020;(11):62–76. DOI: <https://doi.org/10.32651/2011-62> EDN: CVJJDH
15. Воробьев В. В. Мировой рынок удобрений на современном этапе. Вестник университета. 2011;(18):134–135. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qzloax> EDN: PWZQKL
16. Савинская М. Э. Перспективы развития внутреннего рынка минеральных удобрений. Проблемы прогнозирования. 2003;(1):69–77. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9128304> EDN: HRTQCD
17. Кумехов К. К., Кумехова А. К. О проблемах и направлениях дальнейшего развития современной экономической теории. Национальные интересы: приоритеты и безопасность. 2013;9(20):47–56. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19040750> EDN: QARJXJ
18. Кумехов К. К. Теоретическое обоснование двухуровневой конструкции макроэкономической модели. Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе. 2017;(2(22)):69–87. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29777315> EDN: ZBQAVL
19. Ибрагимов А. Г. Использование земельных ресурсов России. Агробιοтехнология – 2021: сб. статей междунаро. научн. конф. М.: Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К. А. Тимирязева, 2021. С. 936–939.
20. Левкевич Р. Е., Сенотрусова С. В. Производство минеральных удобрений в России: тенденции развития отрасли. Инновации и инвестиции. 2023;(8):361–365.
21. Лапушкин В. М., Аксенчик К. В., Малявин А. С. Производство минеральных удобрений. В кн.: Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий. М., СПб: Центр экологической промышленной политики, 2019. С. 515–561.

References

1. Golubev A. V. Fundamentals of the innovative development of the Russian agro-industrial complex: a monograph. Moscow: *Izd-vo RGAU-MSKha*, 2015. 372 p.
2. Artemjev A. A., Guryanov A. M. Efficiency of technologies for the use of mineral fertilizers when cultivating spring barley in the forest-steppe of the Middle Volga region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(4):636–645. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.636-645>
3. Altukhov A. I., Sychev V. G., Vinnichuk L. B. Development of production and market of mineral fertilizers. *Plodorodie*. 2019;(3):6–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2019.108.02>
4. Kruchinina V. M., Ryzhkova S. M. Fertilizer market in Russia: state and direction of development. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy* = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies. 2021;83(1):375–384. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46158038>
5. Vasilieva E. A. Irrigation and drainage systems economic-organizing evolution. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Tekhnicheskie nauki*. 2007;(5):96–100. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13054743>
6. Mazloev V. Z., Kumezhov K. K., Podsevatkina E. A. Estimation of the efficiency of the mechanism of state support of agriculture (on the example of Saratov region). *Ekonomika sel'skokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy* = Economy of agricultural and processing enterprises. 2019;(4):6–15. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31442/0235-2494-2019-0-4-6-15>
7. Ukolova N. V., Fomin D. I. Current state of grain production in the Saratov region. *Russian Economic Bulletin*. 2023;6(2):240–246. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=52694495>
8. Sinyavskiy I. V. Otsenka zavisimosti urozhaynosti zernovykh kul'tur v sevooborote ot primeneniya sapropeley, izvesti, azotnogo i fosfornogo udobreniya. *Vestnik Kurganskoy GSKha*. 2021;(3):13–20. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46715338>
9. Shafran S. A. Recoupment of expenses on application of nitrogen fertilizers in winter wheat top dressing. *Agrokimiya*. 2020;(2):20–27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120020143>
10. Dudkina T. A. Productivity and quality of winter wheat grain in crop rotations with different types of fallow and at different levels of fertilization. *Zernovoe khozyaystvo Rossii* = Grain Economy of Russia. 2023;(2):107–113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2023-85-2-107-112>
11. Artemyev A. A., Laptev I. P. Agronomic and economic efficiency of differentiated application of mineral fertilizers in crop rotation field. *Vestnik NII gumanitarnykh nauk pri Pravitel'stve Respubliki Mordoviya* = Bulletin of the Research Institute of Humanities by the Government of the Republic of Mordovia. 2024;16(2):28–40. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67991046>
12. Sychev V. G. Mineral fertilizers in Russian agriculture: need and reality. *Rossiyskiy khimicheskiy zhurnal*. 2005;49(3):11–14. (In Russ.).
13. Aliev A. M., Varlamov V. A., Derzhavin A. M., Samoylov L. N., Konova A. M., Perevedentseva S. V. Integrated application of agrochemicals in resource-saving technologies of high-input farming systems. *Agrokimiya*. 2011;(11):39–51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=17054523>
14. Mazloev V. Z., Kumezhov K. K. Formation of investment mechanism of agro-industrial complex based on two-level macroeconomic model. *Ekonomika sel'skogo khozyaystva Rossii* = Economics of Agriculture of Russia. 2020;(11):62–76. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32651/2011-62>
15. Vorobyov V. V. World market of mineral fertilizers on the modern stages. *Vestnik universiteta*. 2011;(18):134–135. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=qzloax>
16. Savinskaya M. E. Prospects for the development of the domestic market of mineral fertilizers. *Problemy prognozirovaniya*. 2003;(1):69–77. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=9128304>
17. Kumezhov K. K., Kumezhova A. K. On the problems and directions of further development of modern economic theory. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* = National Interests: Priorities and Security. 2013;9(20):47–56. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=19040750>
18. Kumezhov K. K. Theoretical substantiation of the two-level design of the macroeconomic model. *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve* = Models, systems, networks in economics, technology, nature and society. 2017;(2(22)):69–87. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29777315>
19. Ibragimov A. G. The use of Russian land resources. *Agrobiotechnology – 2021: collection of articles of international scientific conference*. Moscow: *Rossiyskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet – MSKha im. K. A. Timiryazeva*, 2021. pp. 936–939.
20. Levkevich R. E., Senotrusova S. V. Production of mineral fertilizers in Russia: trends in the development of the industry. *Innovatsii i investitsii* = Innovation & Investment. 2023;(8):361–365. (In Russ.).

21. Lapushkin V. M., Aksenchik K. V., Malyavin A. S. Production of mineral fertilizers. In: Encyclopedia of Technologies. Evolution and comparative analysis of resource efficiency of industrial technologies. Moscow, Saint-Petersburg: *Tsentr ekologicheskoy promyshlennoy politiki*, 2019. pp. 515–561.

Сведения об авторах

✉ **Кумехов Константин Колумбиевич**, доктор экон. наук, профессор кафедры национальной экономики и экономического регулирования, Одинцовский филиал ФГАОУ ВО «Московский государственный институт международных отношений (университет) Министерства иностранных дел Российской Федерации», ул. Ново-Спортивная, д. 3, г. Одинцово, Московская обл, Российская Федерация, 143005, e-mail: info@odin.mgimo.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6345-8102>, e-mail: k.kumehov@odin.mgimo.ru

Холбеков Расул Олимович, доктор экон. наук, профессор кафедры «Бухгалтерский учёт», Ташкентский государственный экономический университет, ул. Ислама Каримова, 49, г. Ташкент, Республика Узбекистан, 100066, e-mail: rector@tsue.uz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0683-5821>

Белозорова Эльвира Наилевна, кандидат экон. наук, доцент кафедры общего и проектного менеджмента, ФГБОУ ВО «Финансовый университет при Правительстве Российской Федерации», пр-кт Ленинградский, д. 49/2, г. Москва, Российская Федерация, 125167, e-mail: academy@fa.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2355-858X>

Information about the authors

✉ **Konstantin K. Kumekhov**, DSc in Economics, professor at the Department of National Economics and Economic Regulation, The branch of the Moscow State Institute of International Relations (University) of the Ministry of Foreign Affairs of the Russian Federation in the town of Odintsovo, Novo-Sportivnaya St., 3, Odintsovo, Moscow region, Russian Federation, 143005, e-mail: info@odin.mgimo.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6345-8102>, e-mail: k.kumehov@odin.mgimo.ru

Rasul O. Kholbekov, DSc in Economics, professor at the Department of Accounting, Tashkent State University of Economics, Islam Karimov St., 49, Tashkent, Republic of Uzbekistan, 100066, e-mail: rector@tsue.uz, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0683-5821>

Elvira N. Belozorova, PhD in Economics, associate professor, the Department of General and Project Management, Financial University under the Government of the Russian Federation, Leningradsky Ave., 49/2, Moscow, Russian Federation, 125167, e-mail: academy@fa.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2355-858X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ДИСКУССИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ /
DISCUSSION PAPERS<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1176-1187>

УДК 629.032:631.372

**Тракторный парк аграрного сектора Российской Федерации**

© 2025. А. С. Дорохов, А. В. Сибирёв, С. Н. Петухов, А. Г. Пономарев ✉

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,

г. Москва, Российская Федерация

В первом номере журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока» за 2021 год была опубликована статья «Кто решает, какие тракторы нужны сельхозпроизводителю?», раскрывающая положение дел в отечественном тракторостроении. Спустя 4 года возникла острая необходимость вернуться к данной теме. Одним из оценочных показателей, характеризующих уровень развития аграрного сектора страны, является энерговооруженность, учитывающий количество энергии, приходящейся на определенную площадь сельскохозяйственных угодий. Этот показатель характеризует отношение суммарной мощности автопарка, тракторов, самоходных комбайнов, электродвигателей, имеющихся в хозяйстве к площади пашни данного хозяйства. Обычно используют показатель энерговооруженности в макрооценке уровня механизации регионов, стран. В предлагаемом материале сделана попытка оценить энерговооруженность аграрного сектора Российской Федерации конкретно по тракторной энергетике с учетом назначения трактора. В настоящее время российский агрокомплекс испытывает острый дефицит в тракторной энергетике. Особенно это относится к универсально-пропашным тракторам. Объясняется это рядом причин, главной из которых безусловно является политика федерального ведомства, отвечающего за это направление. Цель данной статьи – показать реальное положение дел по тракторному парку аграрного сектора Российской Федерации в целом, и в федеральных округах в частности, и на основании полученных данных спрогнозировать перспективы дальнейшего развития АПК страны. Материалы исследований – выступления ответственных работников политических и правительственных структур, представителей науки и промышленного производства, официальные данные Федеральной службы государственной статистики.

Ключевые слова: универсально-пропашной трактор, трактор общего назначения, энерговооруженность, класс тяги, агротехнические требования, междурядья, пропашные культуры

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дорохов А. С., Сибирёв А. В., Петухов С. Н., Пономарев А. Г. Тракторный парк аграрного сектора Российской Федерации. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2025;26(5):1176–1187.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1176-1187>

Поступила: 17.02.2025

Принята к публикации: 14.10.2025

Опубликована онлайн: 31.10.2025

Tractor fleet of the agricultural sector of the Russian Federation

© 2025. Alexey S. Dorokhov, Alexey V. Sibirev, Sergey N. Petukhov,

Andrey G. Ponomarev ✉

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

In the first issue of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» of 2021, there was published the article "Who decides which tractors an agricultural producer needs?" revealing the situation in the domestic tractor industry. After 4 years, there was an urgent need to return to this topic. One of the estimation indicators characterizing the level of development of the country's agricultural sector is the energy ratio, which takes into account the amount of energy per certain area of agricultural land. This indicator characterizes the ratio of the total capacity of the fleet, of tractors, self-propelled combines, electric motors available on the farm to the arable land area of the farm. The energy-to-weight indicator is usually used in the macro-assessment of the level of mechanization of regions and countries. In the proposed material, an attempt is made to assess the energy capacity of the agricultural sector of the Russian Federation specifically for tractor power, taking into account the purpose of the tractor. Currently, the Russian agricultural complex is experiencing an acute shortage in tractor energy. This is especially true for universal row tractors. This is explained by a number of reasons, the main one of which is certainly the policy of the federal agency responsible for this area. The purpose of this article is to show the real state of affairs in the tractor fleet of the agricultural sector of the Russian Federation as a whole, and in the federal districts in particular, and based on the data obtained to predict the prospects for further development of the agro-industrial complex of the country. The research materials included speeches by senior officials of political and government structures, representatives of science and industrial production, and official data from the Federal State Statistics Service.

Keywords: universal row tractor, general purpose tractor, power capacity, traction class, agrotechnical requirements, row spacing, row crops

Acknowledgements: the work was performed without financial support within the framework of the initiative theme. The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

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

For citation: Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Petukhov S. N., Ponomarev A. G. Tractor fleet of the agricultural sector of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2025;26(5):1176–1187. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2025.26.5.1176-1187>

Received: 17.02.2025

Accepted for publication: 14.10.2025

Published online: 31.10.2025

Распоряжением Правительства Российской Федерации № 253-р от 07 февраля 2025 г. утверждены изменения, внесенные в Стратегию развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года¹. В констатирующей части которой отмечено, что по состоянию на 1 октября 2024 г. дефицит тракторов у сельскохозяйственных товаропроизводителей составляет порядка 62 тыс. единиц.

Сразу возникает вопрос, неужели мы не можем обеспечить тракторами важнейшую стратегическую отрасль народного хозяйства? Почему вдруг сейчас возник этот вопрос? А раньше разве мы не знали об этом? Приведем хронологию данного вопроса.

Февраль 2018 г. Доклад П. А. Чекмарева (директор Департамента растениеводства, механизации, химизации и защиты растений Минсельхоза России) на Всероссийском совещании инженерной службы в АПК. «.....для достижения оптимального полноценного обновления парка необходимо ежегодно приобретать не менее 56 тыс. тракторов»².

21 января 2020 г. На заседании Комитета по аграрно-продовольственной политике и природопользованию Совета Федерации отмечается, что имеющийся парк сельхозтехники значительно ниже нормативов и характеризуется высокой степенью технического износа. Особенно по тракторам и комбайнам.

Февраль 2021 г. Статья «Приоритетные направления научно-технического развития отечественного тракторостроения» в журнале «Техника и оборудование для села» № 2 за 2021 г. По мнению четырех академиков-аграрников, вследствие нарушения агротехни-

ческих сроков возделывания сельхозкультур страна теряет из-за недополучения продукции сельского хозяйства на сотни миллионов рублей. Нарушение агротехнологических сроков связано с огромным дефицитом тракторов [1].

12 июля 2022 г. на круглом столе в Госдуме рассматривался вопрос «Обеспечение технологического суверенитета России в АПК». Ответственный работник МСХ сообщил, что по предварительному анализу департамента, для проведения весенних полевых работ в агротехнические сроки российским аграриям дополнительно требуется еще около 200 тыс. тракторов³.

Вспомним нашу историю, и приведем такой факт. 23 марта 1919 г. В. И. Ленин в своем докладе на «Секции по вопросу о работе в деревне», организованной на первом заседании VIII съезда РКП(б) 18 марта 1919 г., сказал: «Среднее крестьянство в коммунистическом обществе только тогда будет на нашей стороне, когда мы облегчим и улучшим экономические условия его жизни. Если бы могли дать завтра 100 тысяч первоклассных тракторов, снабдить их бензином, снабдить машинистами (вы прекрасно знаете, что пока это – фантазия), то средний крестьянин сказал бы: «я за коммунию (т. е. за коммунизм)»⁴.

100 лет назад понимали, что трактор является инструментарием, создающим основу жизни на селе.

Уберем из высказывания политику, и увидим, что в настоящее время ситуация схожа в том плане, что слова «крестьянин» и «трактор» неразрывно связаны между собой, и являются основой жизни на селе, что обеспечивает продовольственную безопасность страны.

¹Обновленная Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 07.02.2025 г. № 253-р. [Электронный ресурс]. URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202502080009?index=2> (дата обращения: 17.02.2025).

²Чекмарев П. А. Доклад «О состоянии машинно-тракторного парка, совершенствовании работы инженерно-технических служб АПК и задачах в рамках реализации Госпрограммы на 2013-2020 годы». Москва, 06.02.2018 г. [Электронный ресурс]. URL: https://irkobl.ru/sites/agroline/02_Chekmarev_31_01_Itror.pdf (дата обращения: 17.02.2025).

³Некрасов Р. В. Выступление в Государственной Думе на круглом столе «Обеспечение технологического суверенитета России в АПК», 12 июля 2022 года. [Электронный ресурс]. URL: <https://agrobook.ru/news/80804/rossiyskim-selhozproizvoditelyam-ne-hvataet-200-tysyach-traktorov-minselhoz?ysclid=mgou3lv31502327620> (дата обращения: 17.02.2025).

⁴В. И. Ленин. Полное собрание сочинений: издание пятое. М.: изд-во политической литературы, 1969. Т. 38. стр. 204. [Электронный ресурс]. URL: <https://csruso.ru/wp-content/uploads/2023/02/38.pdf?ysclid=mgj0787she454969777> (дата обращения: 17.02.2025).

Цель работы – оценить энерговооруженность аграрного сектора Российской Федерации конкретно по тракторной энергетике, учитывая при этом назначение трактора.

Многими отечественными учеными проводились исследования, связанные с разработками конструкций тракторов, обоснованием режимов работы, расчетами эксплуатационных показателей. История отечественного тракторостроения очень богата и разнообразна [2].

Учитывая, что территория Российской Федерации, а до этого СССР занимает и занимала огромные площади, расположенные в различных почвенно-климатических зонах, что определяло и севообороты, требования к конструкциям тракторов отличались. Научно-исследовательскими институтами разрабатывались агротехнические (исходные) требования на любой вид сельскохозяйственной техники, которые утверждались Министерством сельского хозяйства и определялся завод на производство.

По такой же схеме разрабатывались и производились гусеничные и колесные тракторы, тракторы общего назначения и универсально-пропашные, классической схемы и с шарнирно-сочлененной рамой. В зависимости от мощности двигателя и эксплуатационной массы тракторы подразделяются на классы. В отечественной классификации тракторов по классу тяги, универсально-пропашные тракторы относятся к классам 0,6, 0,9, 1,4 и 2,0, а тракторы общего назначения, начиная с класса 3 и выше [3, 4, 5, 6].

Важным фактором в той схеме было наличие государственного заказчика на производство тракторов. Сейчас эту функцию выполняет рынок. Казалось бы, как просто определить необходимый тракторный парк, зная общую площадь пашни, площади по культурам, агросроки на выполнение работ. Определить можно, а произвести нет. Нельзя произвести по двум причинам. Первая причина – нет производственных мощностей, вторая причина – отсутствие покупательной способности у отечественного агрария (здесь не имеются ввиду крупные агрохолдинги). В сравнении с 2021 годом наблюдается двукратный рост стоимости сельхозтехники⁵.

Нынешнее состояние тракторного парка в аграрном секторе можно назвать проблемным. Связано это с тем, что больше половины трак-

торов находятся далеко за пределами амортизационного срока, а это требует значительных затрат на проведение ремонтов. Достаточно много в парке (особенно это относится к агрохолдингам) тракторов было закуплено у западных фирм, которые в настоящее время под действием санкций не сотрудничают с российскими аграриями, что усложняет вопросы приобретения запасных частей и ремонта сложной техники.

Серьезной проблемой в обновлении парка тракторов является и безумный диспаритет цен между стоимостью получаемой сельхозпродукции и стоимостью затрат на получение этой продукции.

По этим причинам аграрный сектор в любое время может оказаться в ситуации катастрофической нехватки тракторов.

Что необходимо делать для выхода из сложившегося положения? Определим главное звено. Колесные тракторы общего назначения могут выполняться по классической компоновочной схеме (рис. 1), когда движение трактора осуществляется за счет управляемых передних колес меньшего размера, или по схеме ломающейся рамы, так называемой шарнирно-сочлененной рамой (ШСР) (рис. 2). Учитывая, что колесные тракторы общего назначения, выполненные по классической схеме, относятся к высоким классам тяги, что обусловлено их большой массой. Эти тракторы комплектуются колесами большой грузоподъемности, обеспечиваемой соответствующими типоразмерами шин, габариты которых не позволяют использование таких тракторов на выполнении работ по междурядной обработке пропашных культур. Колесные тракторы общего назначения, выполненные по схеме ШСР, также не могут использоваться на пропашных работах еще и по причине схемы управления движением.

Пропашные культуры, к которым относятся кукуруза на зерно, подсолнечник, сахарная и кормовая свекла, картофель, овощи открытого грунта и ряд других занимают более 20 млн га посевной площади в севообороте Российской Федерации. Эти культуры по трудоемкости возделывания и уборки значительно превосходят зерновые и кормовые. Особенность возделывания заключается в том, что на их посевах

⁵29 января 2025 год. Всероссийское агрономическое совещание в «Тимирязев центре». Доклад заместителя министра сельского хозяйства РФ А. Разина. [Электронный ресурс].

URL: <https://dzen.ru/a/Z59wrkMg-ScCVulZ> (дата обращения: 17.02.2025).

во время вегетации проводятся междурядные обработки с целью рыхления почвы, удаления сорной растительности, подкормки растений и их защиты от болезней и вредителей. Сложность пропашного клина в том, что различные культуры возделывают на различных междурядьях, ширина которых может быть от 45 см (для сахарной свеклы), до 90 см (для широко-

рядной технологии картофеля), что предполагает ряд условий к регулированию колеи трактора, ширине движителей энергосредства. Кроме того, для различных пропашных культур количество выполняемых междурядных обработок за вегетацию и с учетом климатических условий может колебаться от 4 до 10.



Рис. 1. Классическая компоновочная схема колесного трактора общего назначения /
Fig. 1. Classic layout of a general-purpose wheeled tractor/



Рис. 2. Трактор «Кировец», выполненный по схеме с шарнирно-сочлененной рамой (ШСР) /
Fig. 2. Kirovets tractor, made according to the scheme with an articulated frame (SAF)

Для выполнения работ на посевах пропашных культур предназначены универсально-пропашные тракторы, основная масса которых выполняется по классической схеме, которая предполагает передние управляемые колеса меньшего диаметра в сравнении с колесами заднего моста. Комплекс агротехнологических требований, предъявляемых к универсально-пропашному трактору более высокий в сравнении с требованиями к тракторам общего назначения, что усложняет их конструкцию.

В конце прошлого столетия получила развитие «интегральная» схема конструкции универсально-пропашного трактора. Название «интегральная» подразумевает, что такая конструктивная схема вобрала в себя, «суммировала»

ряд свойств, повышающих эксплуатационные характеристики трактора и позволяющая дальнейшее совершенствование технологий производства сельскохозяйственных культур, включая совмещение операций (рис. 3).

Существенными отличительными требованиями к конструкциям универсально-пропашных тракторов, усложняющими их, являются:

- обеспечение возможности регулировки колеи обоих мостов трактора в диапазонах изменения величин междурядий различных культур;
- обеспечение возможности комплектования трактора различными типоразмерами шин, в том числе и их сдвигания, что позволяет

работать в различных междурядьях, обеспечивая нормативные давления движителей на почву, и исключает повреждения как надземной, так и подземной частей культурных растений;

- обеспечение достаточного клиренса, позволяющего проводить обработку высокорослых растений без их повреждения.



Рис. 3. Универсально-пропашной трактор «интегральной» схемы, изготовленный на Липецком тракторном заводе (1989 г.) /

Fig. 3. Universal row tractor of the "integrated" circuit, manufactured at the Lipetsk Tractor Plant (1989)

Вышеперечисленные отличия тракторов общего назначения от универсально-пропашных, обуславливают необходимость формирования парка крупных хозяйств различными типами энергосредств. Для небольших хозяйств (основная масса крестьянско-фермерских), имеющих в севообороте пропашные культуры, комплектование парка возможно только универсально-пропашными тракторами, так как все технологические операции, выполняемые тракторами общего назначения, могут выполняться агрегатами на базе универсально-пропашных тракторов, но с меньшей производительностью.

Представляет интерес соотношение производства тракторов в Российской Федерации по классам. На рисунке 4 приведены данные, полученные по материалам ОАО «АСМ-холдинг», из которого видно, что производство тракторов двух классов (1,4 и 2), закрывающих нишу универсально-пропашных, составило в 2022 году всего 361 единицу, а тракторов общего назначения, которые не могут, в силу ряда причин, выполнять работы по междурядной обработке пропашных культур – 5 627 единиц.

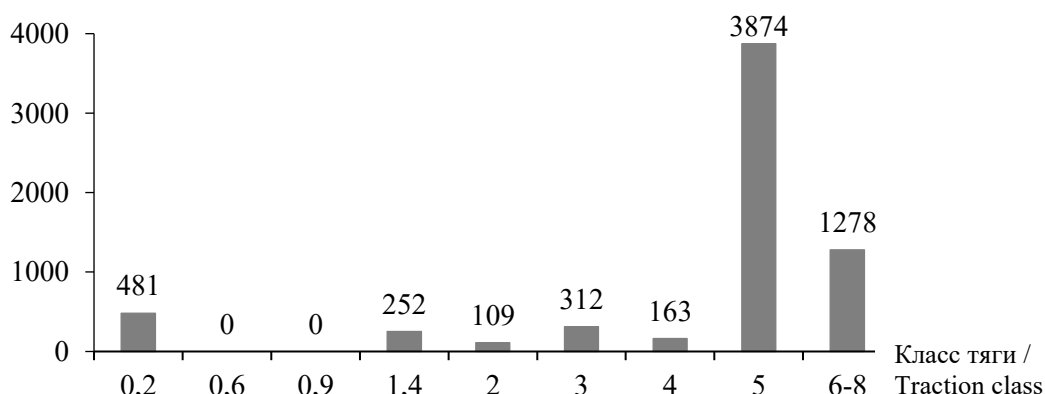


Рис. 4. Производство тракторов по классам тяги в 2022 году, ед. (по данным аналитического обзора ОАО «АСМ-холдинг») /

Fig. 4. Tractor production by traction class in 2022, units. (according to the analytical review of JSC ASM-holding)

Вернемся к показателю энергообеспеченности. Так, по данным Минсельхоза РФ, энергообеспеченность отечественного сельского хозяйства составляет 150 л. с. на 100 га пашни, в Республике Беларусь – 500 л. с., Евросоюзе – 1200 л. с., США – 1600 л. с. Аналогичные данные приводит и директор по работе с ключевыми клиентами ООО «КЗ «Ростсельмаш», господин И. В. Прохиро в презентации «Вызовы рынка и пути развития»⁶.

Для оценки энергообеспеченности АПК Российской Федерации проанализируем данные таблицы, подготовленные на основании официальных источников Федеральной службы государственной статистики⁷.

Энергообеспеченность 100 га пашни (табл. 1), включающая энергетические мощности тракторов (в т. ч. и тракторов, на которых смонтированы землеройные, мелиоративные и другие машины), комбайнов и самоходных машин, автомобилей, электродвигателей и электроустановок, различается по Федеральным округам и находится в диапазоне от 85 до 272 л. с. Однако больший интерес представляет строка 5 (табл. 1), показывающая энерговооруженность 100 гектаров пашни, рассчитанная только по энергетике сельскохозяйственных тракторов (без учета специальных тракторов). Этот показатель по федеральным округам лежит в пределах от 26 до 85 л. с. Один трактор типа Т-25 или МТЗ-80 на 100 гектаров.

Если сравнивать обеспеченность аграрного сектора по количеству тракторов, находящихся на 1000 гектаров пашни, то по такому показателю оценки Российская Федерация значительно уступает мировым лидерам. У нас этот показатель 2,4, в Республике Беларусь – 9, в Канаде – 16.

Сложившаяся ситуация приводит к низкой продуктивности сельского хозяйства и для исправления требуется планомерное развитие тракторного парка с увеличением доли тракторов отечественного производства [7].

Согласно классификации Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии, тракторы общего назначения

и универсально-пропашные входят в пятую группу основных средств, которая относится к имуществу со сроком амортизации до 10 лет.

Большую озабоченность вызывают данные по обновлению тракторного парка (табл. 2). При тех коэффициентах, которые были зафиксированы на начало 2023 года в аграрном комплексе тенденция снижения парка будет продолжаться, при этом парк будет стареть, хотя и в настоящее время количество тракторов, находящихся за пределами амортизационных сроков уже больше 50 %. В таблице 3 приведены данные по обновлению парка за 2024 г. Материалы получены по анализу экспресс-отчета Ассоциации «Росспецмаш» по отгрузке сельскохозяйственных тракторов российскими и зарубежными производителями на внутренний рынок за 2024 г. в сравнении с 2023 г.

В пояснении к таблице специалисты Ассоциации «Росспецмаш» отмечают, что сегмент рынка тракторов с мощностью двигателя от 100 л. с. сектора тракторов классической компоновки и тракторов с ШСР с мощностью двигателя до 300 л. с. снизился на 53,6 % и формировался за счет поставок из Китая, доля которых в 2024 г. составила 32 %, и Республики Беларусь.

Происходящее обновление парка тракторов существенно меньше количества требующего списания, и не может компенсировать естественного их убывания, что усугубляет ситуацию с энергообеспечением в будущем.

Отечественная промышленность пока не имеет достаточного количества производственных мощностей для быстрого восстановления парка тракторов, и требуются дополнительные мощности для производства не менее 150 тыс. шт/год.

Очевидно, что для поддержания тракторного парка на одном уровне, исключая его старение, коэффициент обновления должен быть не ниже 10 (срок амортизации трактора 10 лет). Хотя это не учитывает выбытие тракторов, связанное со списанием техники в результате аварийных случаев.

⁶Совместный круглый стол Комитета по аграрным вопросам и Комитета по промышленности и торговле ТПП России на тему: «Обеспечение технологического суверенитета России в АПК. Состояние и перспективы развития промышленности. Законодательные аспекты». [Электронный ресурс].

URL: <https://agrobook.ru/news/80804/rosslyskim-selhozproizvoditelyam-ne-hvataet-200-tysyach-traktorov-minselhoz?ysclid=mliwatgsbz527256177> (дата обращения 17.12.2024)

⁷Сельское хозяйство в России. М., 2023. 104 с.

URL: http://ssl.rosstat.gov.ru/storage/mediabank/S_x_2023.pdf

Таблица 1 – Энергообеспеченность в аграрном секторе по федеральным округам Российской Федерации /
Table 1 – Energy supply in the agricultural sector by federal districts of the Russian Federation

Показатель / Indicator	Российская Федерация / across the Russian Federation	Центральный / Central	Северо-Западный / North-West	Южный / South	Северо-Кавказский / North Caucasian	Приволжский / Privolzhsky	Уральский / Uralsky	Сибирский / Siberian	Дальневосточный / Far Eastern
Суммарная энергетическая мощность (включая все тракторы, комбайны, автомобили, электродвигатели), л. с. / Total energy capacity (including all tractors, combines, cars, electric motors), hp	90 865 292,0	23 288 312,	3 590 410,0	16 291 675,0	4 827 911,0	23 051 901,0	4 882 976,0	12 516 641,0	2 415 464,0
Суммарная мощность всех тракторов (включая специальные*), л. с. / Total capacity of all tractors (including special ones*), hp	31 447 747,0	7 889 743,0	1 311 968,0	5 532 300,0	1 699 004,0	8 271 528,0	1 721 889,0	4 119 253,0	902 058,0
Общее количество тракторов (включая специальные), шт. / Total number of tractors (including special ones), pcs.	214 849	51 630	10 149	39 888	11 963	56 875	11 608	27 161	5 575
Общая энергообеспеченность 100 га пашни (включая все тракторы, комбайны, автомобили, электродвигатели), л. с. / Total energy supply of 100 ha of arable land (including all tractors, combines, cars, electric motors), hp	110	143	272	120	108	94	94	85	110
Энергообеспеченность 100 га (тракторная, без учета специальных тракторов), л. с. / Energy supply of 100 hectares (tractor, excluding special tractors), hp	35	44	85	37	35	31	31	26	38
Средняя мощность единицы тракторного парка (с учетом специальных тракторов), л. с. / Average capacity of a tractor fleet unit (including special tractors), hp	146	153	129	139	142	145	148	152	162

* К этой категории тракторов относятся оборудованные землеройными, мелiorативными и другими спецмашинами /
* This category of tractors includes those equipped with earth-moving, land-reclamation, and other special machines.

Таблица 2 – Расчетные показатели обновления тракторного парка в аграрном секторе по федеральным округам Российской Федерации /
Table 2 – Estimated indicators of tractor fleet renewal in the agricultural sector in the federal districts of the Russian Federation

Показатель / Indicator	Российская Федерация / across the Russian Federation	Центральный / Central	Северо-Западный / North-West	Южный / South	Северо-Кавказский / North Caucasian	Приволжский / Privolzhsky	Уральский / Uralsky	Сибирский / Siberian	Дальневосточный / Far Eastern
Общая площадь посевов, га / Total area of crops, ha	82 312 398,0	16 272 242,0	1 319 044,0	13 597 275,0	4 463 626,0	24 523 980,0	5 202 502,0	14 743 179,0	2 190 546,0
Количество тракторов на конец 2022 г. (без учета тракторов со спецоборудованием), шт. / Number of tractors at the end of 2022 (excluding tractors with special equipment), pcs.	196 660	46 773	8 688	36 567	10 885	52 465	10 805	25 366	5 111
Количество тракторов на 1000 га (без учета тракторов со спецоборудованием), шт. / Number of tractors per 1000 ha (excluding tractors with special equipment), pcs.	2,39	2,87	6,59	2,69	2,44	2,14	2,08	1,72	2,33
Приобретено в 2022 г. новых тракторов (без учета специальных), шт. / New tractors purchased in 2022 (excluding special tractors), pcs.	8 176	1 855	419	1 635	378	2 219	398	1 101	171
Списано в 2022 г. тракторов по причине износа (без учета специальных), шт. / Tractors written off in 2022 due to the wear (excluding special ones), pcs.	5 302	1 024	206	954	235	1 739	232	687	225
Коэффициент обновления (приобретено в % к наличию на конец года), % / Renewal rate (purchased as % of year-end availability), %	4,2	4,0	4,8	4,5	3,5	4,2	3,7	4,3	3,3

Таблица 3 – Объемы поставок тракторов различных классов в аграрный сектор, ед. /
Table 3 – Volumes of supply of tractors of various classes to the agricultural sector, units.

<i>Вид энергетического средства /</i> <i>Type of power unit</i>	<i>2024 г.</i>	<i>2023 г.</i>	<i>2024 г. к</i> <i>2023 г., %</i>
Тракторы классической компоновки и тракторы с шарнирно-сочлененной рамой (ШСР) с мощностью двигателя до 300 л. с., всего / Tractors of classic layout and tractors with articulated frame (SAF) with engine power up to 300 hp, total:	22 142	32 936	-32,8
в том числе по мощности двигателя, л. с. / including engine power, hp: до 40	5 268	6 448	-18,3
от 40 до 100	12 506	17 071	-26,7
от 100 / from 100	4 368	9 417	-53,6
Тракторы с ШСР с мощностью двигателя от 300 л. с. / Tractors with SAF with engine power from 300 hp	2 984	3 202	-6,8
Тракторы для сельского хозяйства, всего / Tractors for agriculture, total	25 126	36 138	-30,5

Исходя из вышеизложенного становится очевидной необходимость значительного обновления парка тракторов. Возникают вопросы, какими моделями, и какими объемами? Надо сказать, что на производственных мощностях КЗ «Ростсельмаш», АО «Петербургский тракторный завод» и Брянский тракторный завод в настоящее время производятся только тракторы общего назначения тяговых классов 3-6 тонн.

Становится очевидным, что первоочередной задачей отечественного тракторостроения является производство в необходимых количествах собственной модели универсально-пропашного трактора, отвечающего современным требованиям по техническим характеристикам.

В этом направлении уже несколько лет ведет работы коллектив ООО «УралИжтрак». Специалистами организации в качестве объекта производства была выбрана конструкция универсально-пропашного трактора, созданного в 80-х годах прошлого столетия инженерами Липецкого тракторного завода под руководством Александра Сергеевича Дурманова. Благодаря техническим решениям, которые были применены в конструкции, схема получила название «интегральной». Произошедшие в те годы политические события в стране, сложности в экономике остановили производство трактора в Липецке по принятому высшим руководством страны решению. Значительно позже появилась возможность начать производство трактора не на профильном пред-

приятии «Уралвагонзавод». И вот очередная попытка начать производство отечественного универсально-пропашного трактора класса 2-3, крайне необходимого для аграрного сектора, реализуется в г. Ижевске Удмуртской Республики.

Почему выбрана именно такая схема? Дело в том, что «интегральная» конструктивная схема универсально-пропашного трактора обладает рядом существенных преимуществ в сравнении с «классической» схемой трактора, что позволяет внедрять новые технологии на производстве пропашных культур [8, 9, 10]. Агрегатирование сельскохозяйственных машин на передней навесной системе при выполнении междурядных обработок существенно снижает величину защитных зон культурных растений, что уменьшает экологическую нагрузку на окружающую среду за счет снижения применения гербицидов. Совмещение операций в одном проходе агрегата позволяет при посеве заменить сплошное внесение химических препаратов на полосное.

Кроме сельского хозяйства, тракторы «интегральной» схемы в виде модификаций найдут широкое применение в газовой, нефтяной, лесной, коммунальной, дорожно-строительной, железнодорожной и других отраслях народного хозяйства, что позволит без больших производственных затрат существенно расширить реализацию тракторов на рынках сбыта, где цена на технику традиционно выше, чем в сельском хозяйстве (рис. 5).



Рис. 5. Модификации трактора на базе «интегральной» схемы /
Fig. 5. Modifications based on the "integrated" circuit of the tractor

Выводы. Проведенный анализ состояния тракторного парка аграрного сектора Российской Федерации позволяет утверждать:

1. Дальнейшее наращивание производства сельскохозяйственной продукции в аграрном секторе не представляется возможным ввиду критического состояния тракторного парка.

2. Производственные мощности по выпуску отечественных универсально-пропашных тракторов не могут обеспечить цели и задачи аграрного сектора, поставленные перед ним в обновленной Стратегии развития до 2030 г.

3. Для положительной динамики роста тракторного парка аграрного сектора необходимо коэффициент обновления парка довести

до 10, увеличив в 2,5 раза сегодняшний показатель.

4. Имеющиеся и готовящиеся производственные мощности по выпуску тракторов на КЗ «Ростсельмаш», АО «Петербургский» и Брянский тракторные заводы и другие, с заявленными объемами выпуска не способны решить вопрос по необходимому наращиванию тракторного парка, необходимому для аграрного сектора.

5. В настоящее время пополнение парка универсально-пропашных тракторов Российской Федерации на 90 % осуществляется только продукцией из Беларуси и Китая.

6. Российская Федерация не располагает ни одним серьезным производством универ-

сально-пропашных тракторов отечественных моделей. Необходимо вводить новые мощности, используя имеющиеся готовые проекты, отвечающие нормативной базе и прошедшие экспертизу по импортозамещению, стимулирую-

ющие подъем сельхозмашиностроения в создании модельного ряда тракторов 2-3 классов, что в конечном счете направлено на обеспечение продовольственной безопасности нашего государства.

Список литературы

1. Лачуга Ю. Ф., Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Дорохов А. С., Самсонов В. А. Приоритетные направления научно-технического развития отечественного тракторостроения. *Техника и оборудование для села*. 2021;(2):2–7. DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-2-2-7> EDN: WGULNO
2. Трухачев В. И., Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н. Перспективы тракторостроения в России. *Семинар Чтения академика В. Н. Болтинского: сб. ст. М.: Сам Полиграфист*, 2024. С. 43–53.
3. Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Дорохов А. С., Сибирев А. В., Крючков В. А., Сазонов Н. В. Современные технологии и техника для сельского хозяйства – тенденции выставки Agritechnika 2019. *Трактора и сельхозмашины*. 2020;(6):28–40. DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40> EDN: OPALJD
4. Годжаев З. А., Шевцов В. Г., Измайлов А. Ю., Лобачевский Я. П., Ценч Ю. С., Лавров А. В., Зубина В. А., Пономарев А. Г. Концепция создания семейства сельскохозяйственных мобильных энергосредств с комплексами адаптивных машин и агрегатов до 2030 года: монография. М., 2024. 86 с.
5. Грибов И. В., Зенин А. С., Коломейченко А. В., Шипов М. В., Карякин С. Б., Перевозчикова Н. В. Оценка функциональных характеристик тракторов тягового класса 4,0. *Агроинженерия*. 2025;27(1):53–58. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-53-58> EDN: JHITTR
6. Дидманидзе О. Н., Девянин С. Н., Парлюк Е. П., Марков В. А. Энергообеспечение сельскохозяйственного тракторостроения России. *Агроинженерия*. 2021;(2(102)):4–8. DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-4-8> EDN: GAZMJF
7. Черепанова Д. М., Никулина Ю. Н., Янбых Р. Г. Оценка уровня государственной поддержки АПК в России и странах Европейского Союза. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(5):740–750. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.740-750> EDN: IZHMAN
8. Ревенко В. Ю., Назаров А. Н., Скорляков В. И. Методика расчета давления на почву колесных тракторов. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(5):868–876. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876> EDN: USTMJP
9. Ахметов А. А., Камбаров Б. А., Камбарова Д. У., Султанов Ж. А. Оценка соответствия колес трактора с междурядьем посевов сельскохозяйственных культур. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2023;17(3):48–53. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-3-48-53> EDN: EESEBY
10. Ахметов А. А., Ахмедов Ш. А., Астанов Б. Ж., Камбарова Д. У., Ботиров Р. М. Работа механизма изменения клиренса заднего моста универсально-пропашного трактора. *Сельскохозяйственные машины и технологии*. 2021;15(1):41–47. DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-1-41-47> EDN: UGXYDV

References

1. Lachuga Yu. F., Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P., Dorokhov A. S., Samsonov V. A. Priority areas of scientific and technical development of the domestic tractor industry. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela = Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;(2):2–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33267/2072-9642-2021-2-2-7>
2. Trukhachev V. I., Didmanidze O. N., Devyanin S. N. Prospects of tractor building in Russia. *Seminar of Academician V. N. Boltinsky's Readings: collection of articles*. Moscow: *Sam Poligrafist*, 2024. pp. 43–53.
3. Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P., Dorokhov A. S., Sibirev A. V., Kryuchkov V. A., Sazonov N. V. Modern agriculture technologies and equipment - trends of an Agritechnika 2019 exhibition. *Traktory i sel'khoz-mashiny*. 2020;(6):28–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31992/0321-4443-2020-6-28-40>
4. Godzhaev Z. A., Shevtsov V. G., Izmaylov A. Yu., Lobachevskiy Ya. P., Tsench Yu. S., Lavrov A. V., Zubina V. A., Ponomarev A. G. The concept of creating a family of agricultural mobile power units with complexes of adaptive machines and aggregates until 2030: monograph. Moscow, 2024. 86 p.
5. Gribov I. V., Zenin A. S., Kolomeychenko A. V., Shipov M. V., Karyakin S. B., Perevozchikova N. V. Functional evaluation of tractors of traction class 4.0. *Agroinzheneriya = Agricultural Engineering* (Moscow). 2025;27(1):53–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2025-1-53-58>
6. Didmanidze O. N., Devyanin S. N., Parlyuk E. P., Markov V. A. Power supply of farm tractor industry in Russia. *Agroinzheneriya = Agricultural Engineering* (Moscow). 2021;(2(102)):4–8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2021-2-4-8>
7. Cherepanova D. M., Nikulina Yu. N., Yanbykh R. G. Assessment of the level of state support for the agrarian sector in Russia and the European Union. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(5):740–750. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.5.740-750>

8. Revenko V. Yu., Nazarov A. N., Skorlyakov V. I. Method of calculating the pressure on the soil of wheeled tractors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):868–876. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.868-876>

9. Akhmetov A.A., Kambarov B.A., Kambarova D.U., Sultanov Z.A. Assessment of tractor track width compatibility with crop inter-row spacing. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2023;17(3):48–53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2023-17-3-48-53>

10. Akhmetov A. A., Akhmedov Sh. A., Astanov B. Zh., Kambarova D. U., Botirov R. M. Mechanism Operation for Changing the Rear Axle Clearance of a Universal Row-crop Tractor *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii* = Agricultural Machinery and Technologies. 2021;15(1):41–47. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2021-15-1-41-47>

Сведения об авторах

Дорохов Алексей Семенович, доктор техн. наук, академик РАН, первый зам. директора, 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>

Сибирёв Алексей Викторович, доктор техн. наук, чл.-корр. РАН, профессор 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/0000-0002-9442-2276>

Петухов Сергей Николаевич, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2212-8569>

✉ **Пономарев Андрей Григорьевич**, кандидат техн. наук, заведующий лабораторией, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», д. 5, 1-й Институтский проезд, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8871-4419>, e-mail: agrodisel@mail.ru

Information about the authors

Aleksey S. Dorokhov, DSc in Engineering, academician of the Russian Academy of Sciences, first deputy director, 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>

Aleksey V. Sibirev, DSc in Engineering, corresponding member of the Russian Academy of Sciences, professor 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/0000-0002-9442-2276>

Sergey N. Petukhov, PhD in Engineering, leading researcher, 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>

✉ **Andrey G. Ponomarev**, PhD in Engineering, Head of the Laboratory, 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>, e-mail: agrodisel@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЮБИЛЕЙ УЧЕНОГО

**25 октября 2025 года исполнилось 90 лет известному
ученому-селекционеру, кандидату сельскохозяйственных наук
Никифоровой Екатерине Васильевне**



Екатерина Васильевна Никифорова (Логина) родилась 25 октября 1935 г. в д. Новая Малмыжского района Кировской области в семье колхозника.

После окончания Савальского сельскохозяйственного техникума она около пяти лет проработала агрономом в хозяйствах Куменского района Кировской области. В 1957 г. награждена значком ЦК ВЛКСМ "Молодому передовику производства" и за успехи в полеводстве занесена в областную Книгу Почета.

В 1955 г. поступила в Кировский сельскохозяйственный институт на агрономический факультет и после его окончания с 1963 по 1996 год Екатерина Васильевна заведовала лабораторией селекции и первичного семеноводства многолетних трав Фалёнской селекционной станции. С 1996 по 2002 гг. – ведущий научный сотрудник данной лаборатории.

Научная деятельность Е. В. Никифоровой началась с восстановления селекции многолетних трав на станции и организации первичного семеноводства районированного сорта клевера Фалёнский 1. На протяжении 39 лет она успешно вела работу по созданию новых сортов на высоком научно-методическом уровне с использованием современных методов селекции.

Первый сорт клевера лугового Фалёнский 86, созданный Екатериной Васильевной, был занесен в Государственный реестр в 1986 г. и отмечен золотой медалью ВДНХ СССР (1987 г.). В дальнейшем, работая в творческом содружестве с селекционерами НИИСХ Северо-Востока и других научных учреждений страны, Екатериной Васильевной были созданы сорта клевера лугового и гибридного с высокими показателями зимостойкости, продуктивности, экологической устойчивости, разных сроков созревания, имеющие большое хозяйственное значение.

***Дорогая Екатерина Васильевна,
выражаем Вам огромную благодарность и уважение за многолетний, самоотверженный
и плодотворный труд. От всей души желаем Вам стабильного здоровья, оптимизма и долголетия!***

Екатерина Васильевна автор 12 сортов клевера, занесенных в Государственный реестр РФ – Фалёнский 86, Дымковский, Трио, Витязь, Мартум, Орфей, Кудесник, Кретуновский, Грин, Шанс, Фалей, Фрегат. Имеет 9 патентов на селекционные достижения.

Большинство сортов клевера селекции ФГБНУ "Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого" широко районированы в стране. Сорт Трио, созданный совместно с ФНЦ "ВИК им. В. Р. Вильямса" возделывается в 10 из 12 регионов России, сорт Дымковский – в 7 регионах.

За работу "Сорта клевера нового поколения – основа устойчивого кормопроизводства и биологизации земледелия Нечерноземной зоны России" Екатерине Васильевне в составе коллектива авторов в 1999 г. присуждена Государственная премия Российской Федерации в области науки и техники.

В 2013 г. ей присвоено звание Лауреата Премии Кировской области в области сельского хозяйства.

Е. В. Никифорова – автор более 60 научных работ, где отражены основные результаты исследований по селекции и семеноводству клевера, является соавтором книг "«Вятские клевера»" и "Экологическая селекция и семеноводство клевера лугового".

Екатерина Васильевна всегда активно участвовала в пропаганде научных достижений и передового опыта. Организованное под её руководством на высоком научно-методическом уровне первичное семеноводство клевера позволило получать ежегодно до 3,5 т оригинальных семян, а производство элитных семян в ОПХ Фалёнской селекционной станции довести до 30 т (1997 г.).

Е. В. Никифорова пользуется заслуженным уважением в коллективе станции, неоднократно избиралась профгруппоргом, членом профкома, Совета трудового коллектива, редколлегии, общества содействия семье и школе.

За свой многолетний, плодотворный и добросовестный труд она награждена медалью "Ветеран труда" (1985 г.), золотой медалью ВДНХ СССР (1987), Почетными грамотами ЦК КПСС и Совета Министров (1987 г.), Российской академии сельскохозяйственных наук (1995 г.), занесена в Книгу почёта Фалёнской селекционной станции. В 1998 г. ей присвоено звание "Заслуженный агроном России", в 1999 г. – Ветеран труда НИИСХ Северо-Востока им. Н. В. Рудницкого. Екатерина Васильевна является почётным жителем Фалёнского района Кировской области.

