

Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



110 лет



Том 24
№ 3
2023

Vol. 24
No. 3
2023

ПЕРМСКИЙ НИИСХ - 110 лет на службе сельскохозяйственной науки

Полевые научные исследования проводятся на опытном поле института площадью 798 га, особенно ценными являются длительные стационарные опыты, которые входят в состав Географической сети опытов с удобрениями, что подтверждается Аттестатами Россельхозакадемии.



На основе результатов, полученных в длительных стационарных опытах, разработаны научные основы адаптивно-ландшафтного земледелия, система удобрения дерново-подзолистой почвы, новые схемы севооборотов для хозяйств Пермского края, ресурсосберегающая система обработки почвы.

Создана модель сохранения и воспроизводства плодородия дерново-подзолистой почвы, обеспечивающая продуктивность пашни на уровне 4000 к. ед. с 1 га в год.

Разработаны критерии оценки антропогенной трансформации органического вещества пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья.



Производственная деятельность института представлена следующими направлениями: сортоиспытание зерновых культур, картофеля; первичное и элитное семеноводство зерновых и зернобобовых культур, многолетних трав; анализы почвы, удобрений и с.-х. продукции для организаций и частных лиц.



Технологическая линия с фотосепаратором для промышленной сортировки семенного материала (введена в эксплуатацию в 2021 году).

Определение белка
на автоматическом
анализаторе



Технологическая линия



Цех сушки и сортировки семян



Исследование
качества кормов

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

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

Регистрационный номер
ПИ №ФС77-72290
от 01.02.2018 г.

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

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

Рубрики журнала:

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

Контент доступен
под лицензией Creative
Commons Attribution 4.0
License



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

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

Ответственные секретари: Соболева Наталия Николаевна, инженер по НТИ научно-организационного отдела ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия,
Шемуранова Наталья Александровна – к.с.-х.н., зав. лабораторией кормления сельскохозяйственных животных, старший научный сотрудник ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

Редакционный совет

Андреев Николай Руфеевич

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

Багиров Вугар Алиевич

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

Баталова Галина Аркадьевна

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

Гурьянов Александр Михайлович

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

Дёгтева Светлана Владимировна

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

Джавадов Эдуард Джавадович

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

Дидманидзе Отари Назирович

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

Домский Игорь Александрович

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

Еремин Сергей Петрович

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

Иванов Дмитрий Анатольевич

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

Казакевич Пётр Петрович

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

Косолапов Владимир Михайлович

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

Костяев Александр Иванович

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

Куликов Иван Михайлович

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

Леднев Андрей Викторович

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

Никонова Галина Николаевна

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

Пашкина Юлия Викторовна

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

**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, ВИНИТИ, 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.cnsnb.ru/elbib.shtm>;
CYBERLENINKA:
<https://cyberleninka.ru/>;
журнала:
<http://www.agronauka-sv.ru>

Оформить подписку можно на
сайте "Объединенного каталога
"Пресса России" www.pressa-rrf.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

Е-
mail:
agronauka-esv@fanc-sv.ru

Техническая редакция,
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки
Н. Н. Соболева

Подписано к печати
19.06.2023

Дата выхода в свет
02.07.2023

Формат 60x84^{1/8}.
Бумага офсетная.
Усл. печ. л. 21.39.

Тираж 100 экз. Заказ 14.
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

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

**Савченко
Иван Васильевич**

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

**Самodelкин
Александр
Геннадьевич**

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

**Сисягин
Павел Николаевич
Титова
Вера Ивановна**

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

**Урбан
Эрома Петрович**

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

**Пой
Юрий Алексеевич
Широких
Ирина Геннадьевна**

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

**Щенникова
Ирина Николаевна**

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

Changzhong Ren

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

Ivanovs Semjons

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

Marczuk Andrzej

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

Náhlik András

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

Poutanen Kaisa

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

Romaniuk Wazlaw

д.т.н., профессор, Технологического-природоведческого института, г. Варшава, Польша

Yu Li

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

Редакционная коллегия

**Алешкин Алексей
Владимирович**

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

**Артемьев Андрей
Александрович**

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

**Брандорф
Анна Зиновьевна
Бурков Александр
Иванович**

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

**Егошина Татьяна
Леонидовна**

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

**Ивановский
Александр
Александрович**

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

**Ивановский
Александр
Александрович**

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

**Костенко Ольга
Владимировна**

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

**Рябова Ольга
Вениаминовна**

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

**Савельев Алек-
сандр Павлович**

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

**Товстик Евгения
Владимировна**

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

**Филатов
Андрей Викторович**

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

**Шешегова
Татьяна Кузьмовна**

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

**Юнусов Губейдулла
Сибятулович**

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

Agricultural Science Euro-North-East, 2023;24(3)

Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka

Peer-reviewed scientific journal was established in 2000

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

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

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

Registration number
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

Headings

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

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



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

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

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

Natalia A. Shemuranova, Cand. of Sci. (Agricultural), Head of the Laboratory of Feeding Farm Animals, senior researcher, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Editorial council

Nikolay R. Andreev Dr. of Sci. (Engineering), corresponding member of RAS, Academic advisor of the All-Russian Research Institute of Starch and Processing of Starch-Containing Raw Materials – Branch of Russian Potato Research Centre, Moscow, Russia

Vugar A. Bagirov Dr. of Sci. (Biology), professor, corresponding member of RAS, Director of the Department of Coordination of Organizations in the Field of Agricultural Sciences of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation, Moscow, Russia

Galina A. Batalova Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the deputy Director on selection work, the head of Department of oats of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

Alexander M. Guryanov Dr. of Sci. (Agricultural), professor, Director of Mordovia Agricultural Research Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Saransk, Russia

Svetlana V. Degteva Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of Institute of Biology of Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia

Eduard D. Dzhavadov Dr. of Sci. (Veterinary), Honored Worker of Science of the Russian Federation, academician of RAS, professor at the Department of Epizootology named after V.P. Urban, Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia

Otari N. Didmanidze Dr. of Sci. (Engineering), professor, academician of RAS, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia
Igor A. Domskiy Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia

Sergey P. Eremin Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

Dmitriy A. Ivanov Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of RAS, chief researcher of the All-Russian Institute of Reclaimed Lands – Branch of the Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Tver, Russia

Petr P. Kazakevich Dr. of Sci. (Engineering), the professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy Chairman of Presidium of Belarus NAS, a foreign member of RAS, Minsk, Republic of Belarus

Vladimir M. Kosolapov Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the Director of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia

Aleksandr I. Kostjaev Dr. of Sci. (Economics), professor, academician of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Economic and Social Problems of the Development of Regional Agro-Industrial Complex and Rural Territories the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Ivan M. Kulikov Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia

Andrei V. Lednev Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, head of Udmurt Research Institute of Agriculture – Branch of the Udmurt Federal Research Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Izhevsk, Russia

Galina N. Nikonova Dr. of Sci. (Economics), professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Chief of the Department of Forecasting Changes in Economic Structures and Land Relations of the Institute of Agricultural Economics and Rural Development, St. Petersburg Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, St. Petersburg, Russia

Yulia V. Pashkina Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of the Nizhny Novgorod State Agricultural Academy, Nizhny Novgorod, Russia

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Passed for printing
19.06.2023

Date of publication
02.07.2023

Format 60x84^{1/8}. Offset paper.
Cond. pecs. 1. 21.39.
Circulation 100 copies. Order 14.
Free price.

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

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

Editorial Board

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

СОДЕРЖАНИЕ

СТРАНИЦЫ ИСТОРИИ

К. Н. Корляков, И. П. Огородов

Пермскому научно-исследовательскому институту сельского хозяйства – 110 лет.

История и современность..... 333

ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

О. А. Бурова, О. И. Захарова, И. В. Яшин, С. Ш. Хайбрахманова, О. В. Жучкова,

Н. А. Гребнев, А. А. Блохин

Ящур: факторы риска и меры контроля (обзор)..... 346

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

РАСТЕНИЕВОДСТВО

Л. Г. Цёма, А. Л. Латыпова

Сортовая реакция растений картофеля при выращивании на аэропонных установках..... 359

И. В. Лыскова, Н. Ф. Синцова, Е. И. Кратюк

Накопление и морфологические свойства крахмала в клубнях новых гибридов картофеля..... 367

Л. В. Волкова

Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна

сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости..... 377

ЗАЩИТА РАСТЕНИЙ

В. А. Барков, Д. А. Белов, В. Н. Зейрук, Г. Л. Белов, М. К. Деревягина, С. В. Васильева, А. Р. Бухарова

Химическая защита картофеля от грибных болезней с учетом устойчивости сорта..... 389

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

Д. Г. Шишков, В. Р. Олехов, М. Т. Васбиева

Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи

в Среднем Предуралье..... 399

Н. Е. Завьялова, Д. Г. Шишков, О. В. Иванова

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и показатели качества клубней

картофеля..... 409

Н. А. Любимова, Г. Ю. Рабинович

Влияние биопрепарата с наночастицами железа на активность почвенных ферментов

и урожайность картофеля..... 417

Д. А. Дементьев, А. А. Фадеев

Влияние способов обработки на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожайность

культур севооборотов..... 430

Л. Н. Прокина, С. В. Пугаев

Использование макро- и микроудобрений в посевах ячменя в полевом севообороте

на черноземе выщелоченном..... 440

ЗООТЕХНИЯ

Н. И. Абрамова, О. Л. Хромова, Н. В. Зенкова, М. О. Селимян

Направление селекционного процесса в стаде коров айрширской породы в условиях Вологодской области... 448

Н. С. Баранова, Т. Н. Кирикова, А. С. Давыдова, Д. С. Казаков

Оценка биологической полноценности полноценности кормов по контрольным тестам молока

и ее использование при организации кормления молочного скота..... 459

Ю. М. Смирнова, А. В. Платонов, В. А. Котелевская

Эффективность использования пробиотика «Румит» в рационе дойных коров айрширской породы..... 468

ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

А. А. Ивановский, Н. А. Латушкина

Экспериментальный фитобиотик Фитостимплус и его применение телятам..... 478

О. С. Попова, Ю. Н. Алехин, П. А. Паршин, Л. В. Лядова, А. Ю. Лебедева

Патогенетические закономерности развития респираторных и гастроинтестинальных патологий

у телят с предшествовавшей дисфункцией преджелудков в анамнезе..... 487

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

З. А. Годжаев, Е. В. Овчинников, А. С. Овчаренко

Разработка и создание ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей... 498

ХРОНИКА

Памяти ученого. Козлова Людмила Михайловна..... 510

CONTENTS

PAGES OF HISTORY

- Konstantin N. Korlyakov, Ivan P. Ogorodov*
Perm Research Institute of Agriculture is 110 years old. The past and the present..... 333

REVIEWS

- Olga A. Burova, Olga I. Zakharova, Ivan V. Iashin, Svetlana Sh. Khaibrakhmanova, Olga V. Zhuchkova, Nikita A. Grebnev, Andrey A. Blokhin*
Foot and mouth disease: risk factors and control measures (review)..... 346

ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

PLANT GROWING

- Lyubov' G. Tsema, Anna L. Latypova*
Varietal reaction of potato plants grown on aeroponic installations..... 359
- Irina V. Lyskova, Nina F. Sintsova, Elena I. Kratyuk*
Accumulation and morphological properties of starch in tubers of new potato hybrids..... 367
- Lyudmila V. Volkova*
The influence of hydrothermal conditions of the Kirov region on the productivity and quality of grain of spring soft wheat varieties of different ripeness groups..... 377

PLANT PROTECTION

- Vladimir A. Barkov, Dmitry A. Belov, Vladimir N. Zeyruk, Grigory L. Belov, Marina K. Derevyagina, Svetlana V. Vasilyeva, Almira R. Bukharova*
Chemical protection of potatoes from fungal diseases, taking into account the stability of the variety..... 389

AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

- Danil G. Shishkov, Vladimir R. Olekhov, Marina T. Vasbieva*
The influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on the yield of winter rye in the Urals..... 399
- Nina E. Zavyalova, Danil G. Shishkov, Olga V. Ivanova*
The effect of increasing rates of mineral fertilizers on the yield and quality parameters of potato tubers..... 409
- Nadezhda A. Lyubimova, Galina Yu. Rabinovich*
Effect of a biological product with iron nanoparticles on the activity of soil enzymes and potato yields..... 417
- Dmitrii A. Dementiev, Andrey A. Fadeev*
The effect of tillage methods on the cellulose-decomposing activity of the soil and on crop yields in crop rotations..... 430
- Lyudmila N. Prokina, Sergey V. Pugaev*
The use of macro and micro fertilizers in barley crops in field crop rotation on leached chernozem..... 440

ZOOTECHNY

- Natalya I. Abramova, Olga L. Khromova, Natalya V. Zenkova, Maksim O. Selimyan*
The direction of the breeding process in a herd of Ayrshire breed cows in the conditions of the Vologda region..... 448
- Nadezhda S. Baranova, Tatyana N. Kirikova, Anastasiya S. Davydova, Dmitry S. Kazakov*
Assessment of the biological value of forages according to the control tests of milk and its use in the organization of feeding of dairy cattle..... 459
- Yulia M. Smirnova, Andrey V. Platonov, Valeria A. Kotelevskaya*
Effectiveness of probiotic Rumit in the dairy Ayrshire cattle diet..... 468

VETERINARY MEDICINE

- Alexander A. Ivanovsky, Natalya A. Latushkina*
Experimental phytobiotic Phytostimplus and its application to calves..... 478
- Olga S. Popova, Yuri N. Alekhin, Pavel A. Parshin, Lyudmila V. Lyadova, Anastasia Yu. Lebedeva*
Pathogenetic development patterns of respiratory and gastrointestinal pathologies in calves with proventriculus dysfunction history..... 487

MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

- Zakhid A. Godzhaev, Evgeniy V. Ovchinnikov, Alexander S. Ovcharenko*
Design and development of undercarriage systems for agricultural tractors with replaceable half-tracks..... 498

CHRONCLE

- In memory of the scientist. Kozlova Lyudmila Mikhailovna..... 510

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.333-345>



УДК 631.117.4:631.1.016

Пермскому научно-исследовательскому институту сельского хозяйства – 110 лет. История и современность

© 2023. К. Н. Корляков✉, И. П. Огородов

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

Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства является правопреемником Пермской губернской опытной станции, основанной в 1913 году. В статье представлен краткий очерк истории института, а также обзор направлений исследований за период с 1913 года по настоящее время. Приоритет в работе опытной станции, впоследствии института – решение вопросов окультуривания бедных дерново-подзолистых почв Предуралья. Основу научных исследований составляют длительные стационарные опыты, включенные в Российскую географическую сеть опытов с удобрениями. На современном этапе развития институт переходит на комплексные междисциплинарные исследования, направленные на разработку регенеративных систем земледелия, развитие нового направления в кормопроизводстве – использование биологически активных кормов, применение технологий прецизионного земледелия, разработку новых технологий на основе методов и средств агробиофотоники для повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, мониторинга и контроля патогенов и вредителей, усиление экологического аспекта в исследованиях.

Ключевые слова: длительные стационарные опыты, регенеративное адаптивное земледелие, прецизионное земледелие, биологически активные корма, агробиофотоника

Благодарности: работа выполнена без финансового обеспечения в рамках инициативной тематики.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Корляков К. Н., Огородов И. П. Пермскому научно-исследовательскому институту сельского хозяйства – 110 лет. История и современность. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):333-345.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.333-345>

Поступила: 05.05.2023

Принята к публикации: 10.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Perm Research Institute of Agriculture is 110 years old. The past and the present

© 2023. Konstantin N. Korlyakov✉, Ivan P. Ogorodov

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

Perm Research Institute of Agriculture is the legal successor of the Perm Provincial Experimental Station, founded in 1913. The article presents a brief outline of the Institute history, as well as the overview of the Institute research for the period since 1913 to the present. The main direction of the Experimental Station work, later the Institute, was the cultivation of poor sod-podzolic soils of the Urals. The bases of scientific research are long-term stationary experiments included to Russian Geographical Network of experiments with fertilizers. At present, the institute is moving to complex interdisciplinary research aimed at developing regenerative farming systems, developing a new direction in fodder production – the use of biologically active feeds, application of precision farming technique, the development of new technologies using methods and means of agrobiophotonics to increase the productivity of crops, monitoring and control of pathogens and pests, strengthening the environmental aspect in research.

Keywords: long-term stationary experiments, regenerative adaptive farming, precision farming, biologically active feed, agrobiophotonics

Acknowledgements: the work was completed without financial support within the framework of the initiative topic.

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

For citation: Korlyakov K. N., Ogorodov I. P. Perm Research Institute of Agriculture is 110 years old. The past and the present. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* =Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):333-345. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.333-345>

Received: 05.05.2023

Accepted for publication: 10.05.2023

Published online: 28.06.2023

В последнее время во всем мире идет поиск новых путей развития сельского хозяйства. Необходимость этого диктуется многочисленными факторами – это рост народонаселения Земли, ухудшение экологической ситуации, возрастающая химико-техногенная нагрузка на сельскохозяйственные угодья и природную среду в целом. Наблюдается дефицит большинства природных ресурсов, в т. ч. снижение запасов пресной воды. Во многих регионах России, а также и в Пермском крае продолжается сокращение площади земель, пригодных для ведения сельскохозяйственного производства. Отмечается активный процесс урбанизации, приводящий к исключению высокопродуктивных угодий из сельскохозяйственного оборота.

С другой стороны, идет повышение требований к стандартам, определяющих качество и уровень жизни и питания людей. Ставятся задачи по наращиванию уровня продовольственной самообеспеченности и расширению экспортного потенциала агропромышленного комплекса. Успехи современной науки, развитие новых технологий создают возможности для решения главных проблем, возникающих перед сельским хозяйством и перед обществом в целом – это *обеспечение населения полноценными и экологически безопасными продуктами питания, снабжение промышленности растительным сырьем, сохранение среды обитания человека.*

Одно из перспективных направлений сельского хозяйства – адаптивное растениеводство – возделывание культур, наиболее приспособленных к конкретным местным условиям, выращивание в которых наиболее выгодно. Например, многолетними исследованиями доказано, что целая группа культур обеспечивает наибольшую энергетическую и экономическую эффективность при возделывании на Урале – это многолетние бобовые и злаковые травы.

Альтернативное или экологическое земледелие предусматривает выращивание сельскохозяйственной продукции без химических удобрений и пестицидов или с их минимальным применением. При этом ставка делается на видовое разнообразие растений, использование новых высокопродуктивных сортов, устойчивых к болезням и вредителям, внедрение биологических методов борьбы с патогенами.

Концепция ландшафтного земледелия предлагает размещение различных типов с.-х. угодий в зависимости природного окружения,

прежде всего от рельефа местности. Равнинные участки с относительно плодородными почвами являются наиболее подходящими для непрерывного полевого землепользования, на склонах целесообразно чередование полос многолетних трав с пашней, создание долголетних культурных пастбищ; сырые низины и крутые склоны должны оставаться в естественном состоянии как естественные защитные лесополосы, места гнездовой птиц, обитания полезной энтомофауны, пушных и промысловых зверей [1, 2].

Суть карбонового (регенеративного) земледелия состоит в увеличении запаса почвенного углерода за счет повышения количества углерода, вносимого в почву, и снижения темпов потерь углерода в результате дыхания и эрозии почвы. Снижение выбросов парниковых газов, связанных с ведением сельского хозяйства, достигается за счет рационального использования агрохимикатов (удобрений, средств защиты растений), минимальной обработки почвы, подбора сортов и культур, ведения научно обоснованного севооборота, использования органических удобрений и других факторов. Переход сельского хозяйства на ресурсосберегающие технологии, внедрение методов карбонового земледелия позволят существенно сократить углеродный след сельскохозяйственной продукции.

В настоящее время ведущей тенденцией можно признать внедрение адаптивно-ландшафтного земледелия, как переходного этапа к освоению в недалеком будущем приемов прецизионного (точного) земледелия, с использованием космического позиционирования с помощью системы ГЛОНАСС, обеспечивающего наиболее рациональное использование природных и антропогенных ресурсов.

Тематика исследований Пермского научно-исследовательского института сельского хозяйства в той или иной степени затрагивает все перечисленные концепции развития сельского хозяйства, а история его становления отражает общую картину развития российской сельскохозяйственной науки со всеми её достижениями и непростыми задачами.

Пермский НИИСХ является старейшим на Западном Урале сельскохозяйственным научно-исследовательским учреждением. История института началась в конце 1912 года, когда Пермское губернское земское собрание приняло решение о создании сети опытных учреждений.

Первые попытки научного ведения сельского хозяйства на Урале относятся к 60-м годам XIX столетия. Катастрофическая засуха 1891 года заставила Пермское губернское земство искать пути получения устойчивых урожаев. В 1899 году на должность губернского агронома был приглашен видный ученый-агроном Владимир Николаевич Варгин.



**Основатель Пермской опытной станции,
профессор В. Н. Варгин /
Founder of the Perm Experimental Station,
professor V. N. Vargin**

Он сумел расширить показательные опыты в крестьянских хозяйствах, поощрял клеверосеяние и кормопроизводство, при нем впервые испытали и стали применять зяблевую вспашку, а также проводить опыты с заводскими удобрениями. Владимир Николаевич разработал проект создания сети опытных учреждений в Пермской губернии и стал организатором Пермской опытной станции [3, 4].

В январе 1913 года состоялось официальное открытие Пермской губернской сельскохозяйственной опытной станции, которой передали принадлежавшую земству обширную усадьбу на окраине Перми напротив загородного сада (сейчас Центральный парк развлечений им. М. Горького). В 1914-1915 гг. было построено трехэтажное каменное здание станции, в настоящее время в нем располагается химический корпус Пермского аграрно-технологического университета имени академика Д. Н. Прянишникова.

В. Н. Варгин занял посты заведующего опытными учреждениями Пермского губернского земства и, одновременно, директора опытной станции. В 1914-1915 годах сотрудники опытной станции разработали под руководством Владимира Николаевича программы и методики закладки опытов, их ведения и сопутствующих исследований. Первая программа научных исследований касалась главным образом вопросов окультуривания бедных дерново-подзолистых почв Предуралья.



**Первое здание Пермской с.-х. опытной станции, 1915 г. /
The first building of Perm Agricultural Experimental Station, 1915**

В 1915 году опытной станции была выделена земля для Оханского (Менделеевского) опытного поля, в 1924 году начали свою работу Ялуторовское, в 1928-м – Чердынское, в 1929-м – Вишерское и другие опытные поля. Так была создана сеть опытных учреждений в Пермской области. Пермская опытная станция стала центральным учреждением в этой сети. В ее составе созданы

отделы: сельскохозяйственных опытных учреждений, метеорологический, исследовательский (в т. ч. химическая лаборатория с вегетационным домиком). На небольшом земельном участке около здания станции разместились коллекционные мелкоделяночные посеы и питомники. Отделы полеводства и технологии льна развернули работы на землях поселка Архирейка.



**Здание опытной станции, с. Архирейка, 1945 г. /
The building of the Experimental Station, Archireika settlement, 1945**

В 1918 году после организации агрономического факультета Пермского университета Владимир Николаевич Варгин был приглашен профессором А. Г. Генкелем работать на должность декана сельскохозяйственного и лесного факультета [5].

Успешной деятельности В. Н. Варгина в двадцатые годы способствовало назначение в 1920 г. директором опытной станции Николая Григорьевича Кудрявцева, который много сил и энергии отдал осуществлению Варгинского плана создания опытных учреждений в Уральской области, которая была еще больше по территории, чем старая Пермская губерния [6].

После создания Свердловской центральной сельскохозяйственной опытной станции Пермская станция в 1926 году была реорганизована в районную Предуральскую, в конце 1930 года – в селекционно-опытную с базой на Менделеевском опытном поле, а в 1931 году – в Уральскую зональную льняную опытную станцию (УЗЛОС), просуществовавшую самостоятельно до 1956 года.

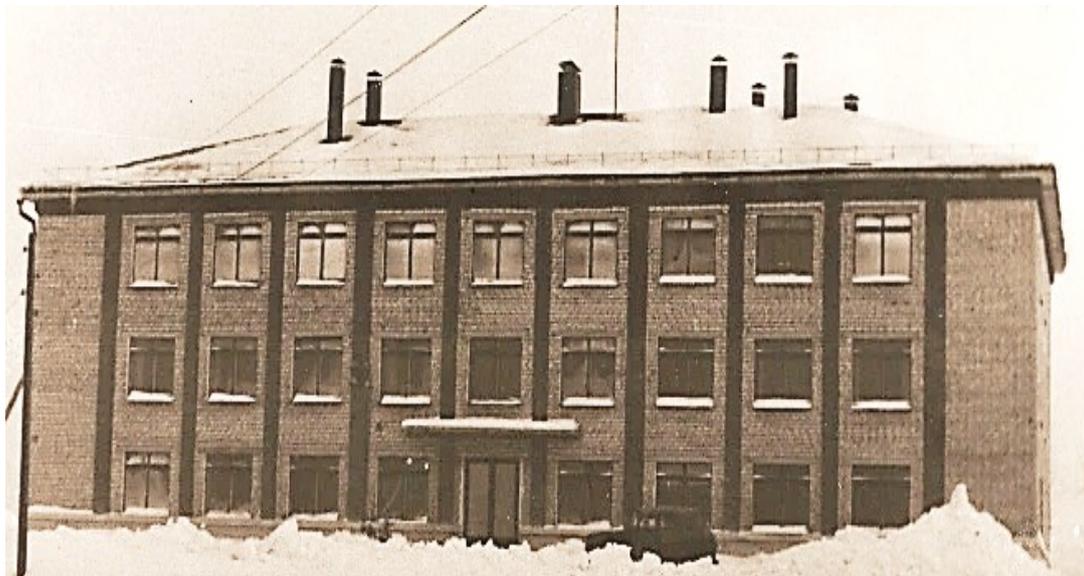
По распоряжению Совета Министров СССР и решению Пермского облисполкома в 1945 году вновь выделилась Пермская государственная сельскохозяйственная опытная станция на землях бывшего совхоза им. Ф. М. Решетникова (затем реорганизован в совхоз «Мотовилихинский» Пермского района) и Заюрчимского участка.

В то время станция имела отделы: растениеводства, животноводства, овощеводства, экономики. Здесь работали 37 человек, в том числе 13 научных сотрудников. В первые послевоенные годы большой вклад в развитие опытов по земледелию и работы всей станции внес Алексей Владимирович Гоганов, работавший на станции с 1946 по 1960 год сначала в должности зав. отделом земледелия, потом зам. директора по научной работе, а с 1956 г. – директором опытной станции. Под его руководством были изучены и даны производству рекомендации по агротехнике занятых паров, обработке почвы в системе севооборота, агротехнике возделывания гречихи и многолетних

трав. В 1956 году в подчинение Пермской станции передано Вишерское опытное поле и в том же году (после ликвидации УЗЛОСа) – Менделеевское. В 1958 году угодья опытной станции расширились за счет присоединения

расположенных рядом земель бывшего подсобного хозяйства завода им. В. И. Ленина [7].

С 1967 года опытная станция, а впоследствии институт, находится в с. Лобаново Пермского района, в 18 км от областного центра.



Первое здание опытной станции в с. Лобаново, 1967 г. (в настоящее время – лабораторный корпус Пермского НИИСХ) / The first building of the Experimental Station in Lobanovo settlement, 1967 (currently – the laboratory building of Perm Research Institute of Agriculture)

В 1967 году при опытной станции образовано опытно-производственное хозяйство «Лобановское», за которым было закреплено 8 960 га с.-х. угодий, в т. ч. более 5 400 га пашни. Тесное сотрудничество науки и производства позволило повысить урожайность зерновых и зернобобовых культур с 12,2 ц/га (1965 г.) до 35-39 ц/га, картофеля – с 66 до 150 ц/га, овощей – с 80 до 300-350 ц/га (1975-1979 гг.). Руководителями ОПХ «Лобановское» в разные годы работали Степан Антонович Разгон, Олег Николаевич Босов, Сергей Алексеевич Бураков, Любовь Ивановна Коковина. В 1986 году было образовано второе ОПХ – «Юговское». Возглавил хозяйство Анатолий Иванович Макаренков.

На базе опытной станции и двух опытно-производственных хозяйств в 1987 году было создано научно-производственное объединение «Предуралье» с общей численностью работающих около 1500 человек. Научный коллектив объединения насчитывал 120 человек, в том числе 46 научных сотрудников. Исследования проводили на трех опытных полях в различных зонах области: центральное Лобановское, южное или Бардымское и Коми-Пермяцкое в г. Кудымкаре.

В 1988 году на базе опытной станции был создан Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства.

Весомый вклад в работу опытной станции, а впоследствии института внесли директор Иван Викторович Захарченко, кандидат экономических наук, руководивший институтом в течение 28 лет (1965-1993 гг.), и Валерий Антонович Бугреев, кандидат сельскохозяйственных наук (1993-2003 гг.). В последующие годы институт возглавляли доктор техн. наук Александр Дмитриевич Галкин, в 2007-2017 гг. – кандидат экономических наук Сергей Вениаминович Третьяков.

В период руководства И. В. Захарченко значительно усилилось оснащение научной и производственной базы института и опытных хозяйств, была создана социальная и инженерная инфраструктура села Лобаново.

Большой вклад в организацию научных исследований института внесли заместители директора по научной работе В. М. Вараксин, Е. И. Дудина, Н. К. Масалкин, Л. Г. Сорокин. Под непосредственным руководством Леонида Григорьевича Сорокина (1975-1980 гг.) была развернута обширная научная программа по кормопроизводству, включающая разработку

интенсивных технологий возделывания многолетних трав, как основы кормо-сырьевых конвейеров. Данное направление было продолжено и расширено сменившими его на этом посту В. А. Бугреевым (1980-1993 гг.) и В. А. Воло-

шиным (1993-2007 гг.), который, работая по данной тематике, защитил сначала кандидатскую, затем докторскую диссертации. В 2005 г. Волошин Владимир Алексеевич также исполнял обязанности директора института.



Село Лобаново в настоящее время / Lobanovo settlement now

Крайне сложно дались институту и опытно-производственным хозяйствам девятые и двухтысячные годы. Планомерная и размеренная работа по научным разработкам и последующему внедрению результатов НИР начала пробуксовывать из-за снижения мер государственной поддержки, несогласованности действий руководителей ОПХ и специалистов, возникли внешние интересы имущественного характера. Пермский НИИСХ в 2004 году лишился ОПХ «Юговское», а в 2005 году ОПХ «Лобановское» было объявлено банкротом. Этому предшествовала череда смены руководителей, управляющих и попыток скоординировать работу НИИ и ОПХ.

Институт с 2005 по 2014 год был аккредитован как Государственное учреждение Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук и относился к Отделению растениеводства академии. Координацию научных исследований осуществлял Северо-Восточный региональный научный центр Россельхозакадемии (г. Киров).

Исследования проводились и проводятся в настоящее время на центральном (Лобановском) опытном поле, которому, согласно закону Пермского края от 11.02.2008 г. № 195 – ПК, был придан статус особо ценных земель с.-х. назначения в связи с признанием высокой ценности многолетних стационарных опытов института, которые проводятся с 1967 года. Опытные производственные хозяйства и периферийные опытные поля прекратили свое существование. В 2022 году была принята новая редакция закона, согласно которой площадь особо ценных продуктивных сельскохозяйственных угодий, закрепленных за институтом, была увеличена с 454 до 798 га.

Самым крупным подразделением в составе института долгое время был отдел агрохимии и земледелия, который организован сразу после создания Пермской опытной станции. Основная работа отдела развернулась после 1921 года, когда были заложены длительные опыты по вопросам рационального применения извести, фосфоритной муки, суперфосфата, а также по созданию системы обработки почвы в севооборотах.



**Опытное поле института (на заднем плане длительный опыт «Система севооборотов, обеспечивающая максимальное использование биологического азота», год закладки 1977) /
Experimental field of the Institute (long-term stationary experiment (since 1977)
“Crop rotation system that ensures the maximum use of biological nitrogen” is in the background)**

В 1960-80 годы была заложена целая серия стационарных опытов с целью разработки программы интенсификации земледелия при условии расширенного воспроизводства почвенного плодородия. Благодаря этим опытам выполнено большое количество научных разработок. Среди особо важных в научном и производственном отношении можно назвать такие, как «Интенсивная технология возделывания зерновых культур с уровнем урожайности 40-45 ц/га», «Рациональное использование фосфатного фонда почв и удобрений», «Географические закономерности действия минеральных удобрений в Пермской области», «Разработка моделей плодородия почв при комплексном агрохимическом окультуривании» [8]. Данные опыты позже вошли в состав Географической сети полевых опытов с удобрениями, работающей с 1941 года под методическим руководством ВНИИ агрохимии имени Д. Н. Прянишникова. Всего в реестр международной сети опытов и российскую Географическую сеть было включено девять стационарных опытов Пермского НИИСХ.

По состоянию на 2021 год в мире насчитывается около 1000 длительных стационарных опытов, в России – 337. Действующих опытов, которые соответствуют всем требованиям современной методики, зарегистрированы и имеют сертификаты, намного меньше – 620 в мире, 149 – в России.

Начиная с 1986 года и по настоящее время, программа исследований в длительных стационарных опытах претерпела значительные изменения. Часть опытов была закрыта по причине недостаточного финансирования, в других опытах были изменены задачи исследований или появились новые дополнительные направления, обусловленные изменением содержательных научных задач, появлением современных технологий и методик, новых вызовов, которые возникли перед научным сообществом, сельскохозяйственным производством и обществом в целом.

В настоящее время в институте в полном объеме проводятся исследования на четырех стационарных опытах:

1. Изучение системы удобрения на подзолистых почвах Предуралья (год закладки 1968). Аттестат длительного опыта № 19. Включен в международную сеть EuroSOMNET).

2. Влияние фосфатного уровня почвы на эффективность минеральных удобрений (год закладки 1970). Аттестат опыта № 60.

3. Изучение влияния доз и соотношений минеральных удобрений на урожай и качество полевых культур (год закладки 1978). Аттестат опыта № 106.

4. Система севооборотов, обеспечивающая максимальное использование биологического азота (год закладки 1977). Аттестат опыта № 107.

Производственное направление работы института было представлено прежде всего первичным семеноводством зерновых и зернобобовых культур, многолетних трав и картофеля. Селекционно-семеноводческая работа на Пермской сельскохозяйственной опытной станции начата в 1957 году. В 1960 году, в соответствии с постановлением Совета Министров СССР и ЦК КПСС от 23 апреля 1960 года «Об улучшении семеноводства зерновых культур, масличных и трав» в научно-исследовательских организациях были созданы отделы первичного семеноводства. На опытно-производственные хозяйства, закрепленные за институтами, возложили обязанности производства элиты и первой репродукции зерновых культур, трав, картофеля в объеме, обеспечивающем потребности с.-х. производства.

В 1961 году функции отдела были расширены, при нем образовали лабораторию селекции. Старший научный сотрудник Таисья Георгиевна Шумихина организовала селекцию кормовых бобов, клевера лугового, вывела сорт клевера Лобановский (1965-1975 гг.). Она внесла значительный вклад в выявление лучших популяций староместных клеверов и выращивание семян элиты клевера лугового сорта Пермский местный, оригинатором которого до настоящего времени является Пермский НИИСХ. Сотрудниками отдела семеноводства разработаны технологии производства семян элиты зерновых, зернобобовых культур, картофеля в условиях Предуралья, изучены методы эффективности гибридизации сортов гречихи. Заведующая лабораторией селекции И. П. Муромцева провела большую работу по исследованию приемов сохранения и повышения посевных качеств семян переходящих фондов. Рекомендации по результатам работы И. П. Муромцевой включены в ГОСТы посевных качеств переходящих фондов озимой ржи.

В 80-90 гг. в институте проводились исследования по широкому кругу проблем, работали следующие отделы и лаборатории: отдел земледелия и химизации, состоящий из двух лабораторий – земледелия и агрохимии; отдел семеноводства (лаборатории зерновых и зернобобовых культур, многолетних трав, картофеля на безвирусной основе); отдел животноводства; отдел кормопроизводства; отдел механизации; отдел внедрения и пропаганды; научная библиотека; лаборатории плодово-овощеводства, экономики, садоводства; конструп-

торское бюро и аналитическая лаборатория. Научными сотрудниками института проводилась работа по внедрению результатов научных исследований в производство, пропаганде достижений науки и передового опыта.

Ежегодное производство семян питомников зерновых и зернобобовых культур составляло 200-250 т, многолетних трав – 6,5-7,0 т, картофеля – до 200 т. Производство семян элиты и первой репродукции в двух опытно-производственных хозяйствах достигало 3000 т зерновых культур, 70 т многолетних трав и 2000 т картофеля. ОПХ «Лобановское» также являлось племенным хозяйством по двум породам крупного рогатого скота: тагильской и черно-пестрой. Отдел животноводства института обеспечивал научное сопровождение племенной работы в хозяйстве, проводил исследования в области кормления и содержания животных на крупных животноводческих комплексах.

В 2013 году в результате объединения Российской академии наук и Российской академии сельскохозяйственных наук Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства вошёл в состав Пермского научного центра Уральского отделения Российской академии наук. В состав центра ранее входили только четыре академических института: Институт механики сплошных сред УрО РАН, Горный институт УрО РАН, Институт экологии и генетики микроорганизмов УрО РАН, Институт технической химии УрО РАН.

В 2017 году Пермский научный центр был преобразован в Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (ПФИЦ УрО РАН). С этого времени расширяется участие Пермского НИИСХ в комплексных междисциплинарных исследованиях в соответствии с целями и задачами Программы развития ПФИЦ УрО РАН на 2017-2020 гг.

На основании рекомендаций Федерального агентства научных организаций, а затем Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в 2017 году произошло объединение 13 научных тем исследований Пермского НИИСХ в три крупные комплексные темы:

1. Разработка научных основ систем земледелия и животноводства в условиях интенсивной антропогенной нагрузки на почвы и сельскохозяйственные угодья в Предуралье.

2. Поиск, изучение генетических источников и доноров хозяйственно ценных признаков многолетних кормовых трав, разработка научных основ технологий возделывания и использования культур, обладающих биологической активностью.

3. Разработка приёмов управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур на основе разрабатываемых научных основ точного земледелия в условиях повышенной антропогенной нагрузки.

Первая тема объединила исследования, связанные с разработкой следующих элементов систем земледелия и животноводства: изучение продуктивности с.-х. культур в бессменных посевах и севооборотах, подбор лучших предшественников, разработка новых схем севооборотов, поиск новых технологических приемов повышения плодородия почвы – основного средства с.-х. производства, интродукция новых культур, а также сортов зерновых культур и картофеля.

Основой для исследований являются четыре стационара, перечисленные ранее, опыты по экологическому испытанию новых сортов картофеля, ячменя и овса, не прошедших государственное сортоиспытание.

Результаты работы по данной теме были отражены в многочисленных публикациях, в том числе изданы монография Н. Е. Завьяловой «Органическое вещество дерново-подзолистых почв Предуралья» (Пермь, 2014), около 20 статей в отечественных и зарубежных журналах, рекомендациях и разработках, например: «Усовершенствованная технология производства семян зерновых и многолетних трав в Пермском крае», «Критерии оценки антропогенной трансформации органического вещества пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья».

По результатам экологического испытания ежегодно даются рекомендации по передаче сортов картофеля, овса и ячменя на государственное сортоиспытание.

Вторая тема соединила исследования в области изучения новых для Предуралья кормовых культур, разработки и совершенствования технологии возделывания многолетних трав и других кормовых культур, технологии приготовления кормов, разработки полноценных систем кормления для с.-х. животных. В 2010 году в Пермском НИИСХ начались исследования, направленные на создание научных основ нового направления в кормопроиз-

водстве: производство биологически активных кормов, сущность которого состоит в выращивании и заготовке кормов из растений, в состав которых входят иммуномодулирующие вещества (экдистероиды и другие). Основная идея состоит в том, что хотя концентрация их значительно ниже, чем в специально приготовленных препаратах (экстракты, вытяжки), но скармливание таких кормов (зеленая масса, сено, сенаж, витаминно-травяная мука) также обеспечивает существенный профилактический или даже терапевтический эффект и позволит в дальнейшем снизить или исключить содержание антибиотиков в продукции животноводства. Кроме того, этот корм является во всех других отношениях ценным и высокопитательным. При этом необходимо подобрать такие культуры, использование которых обладало бы двойным действием. Далеко не каждое растение, в состав которого входят биологически активные вещества, может быть одновременно и кормовой культурой, пригодной для широкого хозяйственного использования.

Научный приоритет в данной области принадлежит коллективу отдела кормопроизводства Пермского НИИСХ. Проведенный аналитический поиск и предварительные исследования выявили следующие культуры с потенциально двойным назначением: левзея сафлоровидная, серпуха венценосная, эспарцет песчаный, астрагал альпийский и нутовый, клевер открытозевый. Исследования по изучению левзеи сафлоровидной проводятся на опытном поле Пермского НИИСХ с 2010 года. Доказана возможность возделывания левзеи сафлоровидной в местных условиях, ее высокая урожайность (35-64 т/га зеленой массы), получение двух укосов за сезон, возможность возделывания на одном месте без пересева более 10 лет (травостой используется до настоящего времени), установлена высокая кормовая ценность надземной массы. Проведенные исследования позволили разработать технологию возделывания левзеи на кормовые цели и семена. Биологической активностью обладают корма из люцерны изменчивой и козлятника восточного, хотя и в меньшей степени. Исследования с данными культурами начались в институте значительно раньше – в 1980 и 1987 годах соответственно. Были разработаны технологии возделывания этих культур на корм и семена. В 2013 году произведена закладка серии опытов с эспарцетом песчаным.

За период с 2010 по 2022 год проведены полевые и лабораторные исследования с целью разработки технологии возделывания культур, содержащих иммуностимулирующие вещества: левзеи сафлоровидной и эспарцета песчаного.

Разработана технология возделывания левзеи сафлоровидной на корм и семена. Проведены опыты по кормлению КРС и птицы с использованием кормовых добавок, содержащих иммуностимулирующие вещества.

Применение кормов, обладающих иммуностимулирующим действием особенно актуально для применения в птицеводстве с высокой численностью и концентрацией поголовья на крупных птицефабриках, риском возникновения эпифитотий, широким применением антибиотиков. Использование в птицеводстве, а также и в других отраслях животноводства левзеи сафлоровидной, наряду с увеличением продуктивности животных, обеспечивает получение здоровой пищи для человека за счет снижения интенсивного применения ветеринарных препаратов, особенно антибиотиков.

Коллекционный полевой питомник многолетних кормовых культур создан в Пермском НИИСХ в 1969 году. Цель – поиск, оценка и рекомендации для с.-х. производства по возделыванию видов и сортов кормовых растений, наиболее полно используемых природно-климатические ресурсы Пермского края. За 50 лет существования в коллекции оценено более 200 видов кормовых растений, не считая сортов. По результатам изучения в разное время был выделен ряд перспективных культур и сортов, впоследствии для них были разработаны технологии выращивания: донник белый, люцерна изменчивая, козлятник восточный, лядвенец рогатый, озимая вика, рапс яровой, просо посевное, озимое тритикале, десятки гибридов кукурузы и другие культуры, которые в настоящее время широко возделываются на полях Прикамья.

Цель третьей комплексной темы – разработать научно-методическое обеспечение для применения приемов точного земледелия и информационных технологий в управлении продукционным процессом с.-х. культур в условиях изменяющегося климата, а также показать преимущества прецизионного производства, заключающегося в экономической эффективности устойчивого формирования повышенного уровня продуктивности с.-х. культур.

Для реализации данной темы в 2019 году создана новая (молодежная) лаборатория

прецизионных технологий в сельском хозяйстве. За три года работы лаборатории проведены полевые исследования по влиянию дифференцированного применения минеральных удобрений и гербицидов, в т. ч. подкормок азотными удобрениями озимых зерновых культур, осуществлены следующие мероприятия:

- проведен пространственный анализ продуктивности ярового ячменя в зависимости от нормы высева на основе данных дистанционного зондирования Земли;

- создана аналитическая геоинформационная система дистанционного мониторинга землепользования Пермского НИИСХ – филиала ПФИЦ УрО РАН. В созданной ГИС спектральные индексы растительности отражены в цифровом паспорте поля;

- разработана на основе данных дистанционного зондирования Земли методика оценки земельных участков, зарастающих борщевиком Сосновского;

- разработан алгоритм обучения нейросети для распознавания наиболее распространенных сорных растений на территории Пермского края.

Сотрудниками лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве осуществляется разработка следующих тем:

- Создание аналитических геоинформационных систем хозяйств на основе гиперспектральной космической съемки, данных агрохимических обследований почв.

- Оценка состояния сельскохозяйственных растений с использованием данных гиперспектральной съемки с БПЛА, биохимических экспресс-анализов.

- Наблюдение за состоянием посевов в течение вегетационного периода по аэрофотоснимкам или космоснимкам. Получаемые в результате обработки таких снимков спектральные индексы отражают состояние посевов на полях хозяйства. Наиболее достоверным и распространенным спектральным индексом является NDVI (normalized difference vegetation index) – нормализованный разностный вегетационный индекс. Проведены исследования корреляции значения NDVI и урожайности зерновых культур.

Исследования проводятся в тесном сотрудничестве с МГТУ им. Н. Э. Баумана, Научно-технологическим центром уникального приборостроения, ВНИИ фитопатологии (г. Москва), «Кванториум Фотоника» (г. Пермь).

В настоящее время совместно с Институтом экологии и генетики микроорганизмов УРО РАН и Горным институтом выполняются работы в рамках КПНИ «Развитие селекции и семеноводства картофеля в РФ» по теме: «Разработка новых технологий хранения и удобрения картофеля на основе исследования свойств природных калийных солей и продуктов переработки отходов К-Mg руд».

Продолжается научная работа по трём темам, поддерживаемым грантами регионального конкурса РФФИ:

1. Теоретические и прикладные аспекты трансформации органического вещества и азота пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья. Грант РФФИ № 17-45-590166 p_a (Пермский НИИСХ).

2. Исследование физико-химических, антибактериальных и противогрибковых свойств воздушной среды, формирующихся под воздействием природных калийных солей. Грант РФФИ № 17-45-590657 p_a (Пермский НИИСХ и Горный институт).

3. Комплексное исследование биологической активности перспективных кормовых растений. Грант РФФИ № 19-44-590009 p_a (Пермский НИИСХ и Институт экологии и генетики микроорганизмов).

Богатый научный материал, полученный в длительных стационарных, полевых и лабораторных опытах позволил ученым отделов и лабораторий института создать за период с 2000 года по настоящее время десятки крупных научных разработок, опубликовать около 300 статей в российских и зарубежных журналах, подготовить и издать 15 монографий. Самыми значительными из них являются:

1. Волошин В. А. Вопросы полевого кормопроизводства в Предуралье. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2012. 470 с.

2. Волошин В. А., Майсак Г. П. Озимые культуры в кормопроизводстве Пермского края. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2012. 74 с.

3. Завьялова Н. Е. Органическое вещество дерново-подзолистых почв Предуралья. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2014. 328 с.

4. Завьялова Н. Е., Васбиева М. Т., Ямалдинова В. Р., Фомин Д. С., Шишков Д. Г. Критерии оценки антропогенной трансформации органического вещества пахотных дерново-подзолистых почв Предуралья. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2021. 122 с.

5. Косолапова А. И., Завьялова Н. Е. Агроэкологические аспекты адаптивно-ландшафт-

ного земледелия и органическое вещество пахотных земель Предуралья. Пермь: Изд-во ПОНИЦАА, 2006. 190 с.

6. Косолапова А. И., Попова С. И. Агроэкологические вопросы устойчивости агроэко-системы в Предуралье. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2012. 232 с.

7. Попова С. И., Митрофанова Е. М., Зиганшина Ф. М. Известкование кислых почв в Предуралье. Пермь: Изд-во «ОТ и ДО», 2013. 252 с.

В 2022 году в состав института вошла новая молодежная лаборатория агробиофотоники. Основными направлениями работы лаборатории являются биологические исследования с применением оптических и флуоресцентных методов, разработка оптоэлектронных устройств и их адаптация для повышения эффективности процессов в аграрной сфере, разработка новых технологий с применением методов и средств биофотоники. Приоритетные задачи, стоящие перед сотрудниками лаборатории, это оптимизация условий культивирования растений в светокультуре, изучение влияния лазерного облучения на семена злаковых и бобовых культур, адаптация разработанного волоконно-оптического датчика для контроля, фиксации наличия и состояния насекомых.

В настоящее время институт возглавляет – Иван Петрович Огородов, кандидат экономических наук, заместитель директора по научной работе – Константин Николаевич Корляков, кандидат сельскохозяйственных наук, ученый секретарь – Марина Тагирьяновна Васбиева, кандидат биологических наук. Научный коллектив института сбалансирован по соотношению молодых исследователей (54 % от общего числа) и квалифицированных опытных ученых, среди которых один – доктор биологических наук, шесть – кандидаты сельскохозяйственных наук, три – кандидаты биологических наук, один – ветеринарных, один – экономических. Всего за годы работы института подготовлено 6 докторских и 72 кандидатских диссертации.

В связи с выполнением большинства задач, намеченных в Программе развития ПФИЦ УРО РАН на 2017-2020 гг., в текущем году началась работа по формированию новой программы развития центра на 2024-2028 гг. Ключевые положения новой программы – комплексные междисциплинарные исследования, направленные на разработку регенера-

тивных систем земледелия в условиях повышающейся антропогенной нагрузки на агробиоценозы Предуралья, применение технологий прецизионного земледелия, усиление экологического аспекта в исследованиях. Планируется создание новых лабораторий: 1) комплексного промышленного использования побочных продуктов сельскохозяйственной, лесной, добывающей, коммунальной отраслей экономики; 2) молекулярно-генетического анализа и селекции сельскохозяйственных культур; 3) агроботехнологий (биопрепараты, микробиологические препараты и т. д.).

Активное развитие института в настоящее время связано с рядом федеральных, региональных и прикладных научных задач. С 2018 года Пермский НИИСХ реализует 5 комплексных научно-технических проектов по соглашению с Правительством Пермского края, один проект в рамках КПНИ «Селекция и семеноводство картофеля». Кроме того, благодаря Министерству науки и высшего образования Российской Федерации появилась возможность обновления научной приборной и производственной базы. За 2018-2022 годы с привлечением различных источников приобретено 50 различных единиц техники, технологического и научного оборудования.

Пермский НИИСХ – филиал ПФИЦ УрО РАН активно работает с индустриальными и научными партнерами – УрФАНИЦ и ФАНЦ Северо-Востока, Пермский ГАТУ, Пермский национальный исследовательский университет, технопарк «Кванториум-фотоника», компаниями ПАО «УралКалий», Пермская птицефабрика, Пермский целлюлозно-бумажный комбинат, АО «Терминал_Льсьва», агрофирмы «Труд» и «Русь» – это лишь часть тех организаций, с которыми научные сотрудники взаимодействуют по различным направлениям. Более 100 предприятий пользуются услугами аналитической лаборатории. Мы считаем крайне важным не только постоянно находиться в научном поиске, но и заниматься внедрением научных работ в производство, развивать взаимодействие с образовательными учреждениями, коллегами в научных органи-

зациях России и зарубежья, быть открытыми и активно искать новые научные направления.

Заключение. Пермский НИИСХ преодолел рубеж в 110 лет. Трижды менялось название страны за время существования Пермской сельскохозяйственной опытной станции. Менялось не просто название, коренным образом менялась сама страна, ее общественный строй, весь уклад жизни. Страна прошла трудный и трагический путь от царской России к Советскому Союзу и, снова к России, называющей себя демократической, хотя до подлинной демократии ей предстоит пройти еще длительный и сложный путь. За это время произошло две мировые войны, развал великой страны Советский Союз, глобальные политические изменения в мире.

Неизменным все это время оставалось только одно: каждую весну крестьянин (называть его могли в разные времена колхозник или фермер, но суть от этого не менялась) выходил в поле и начинал очередной сезон полевых работ, строя планы, надеясь на хороший урожай, добрый приплод и лучшую жизнь. Также неизменно губернские, а затем, советские агрономы, ученые-аграрии каждую весну выходили в поле, закладывали очередные серии опытов и продолжали научную работу, направленную на совершенствование агротехники, выведение новых сортов, улучшение, в конечном счете, всей жизни народа.

Несколько поколений ученых, работавших на Пермской с.-х опытной станции, заложили прочный фундамент агрономической науки в Пермском крае, воспитали и обучили тысячи специалистов, обеспечили преемственность научных исследований. Опираясь на этот прочный фундамент, коллектив Пермского НИИСХ продолжает научную и производственную деятельность, разворачивает и осуществляет планы модернизации материально-технической базы и всей работы института, с оптимизмом смотрит в будущее, надеется на преодоление неизбежных в нашем деле трудностей и достижение высокого качества жизни в результате новых успехов в научной и производственной деятельности.

Список литературы

1. Косолапова А. И., Завьялова Н. Е. Агроэкологические аспекты адаптивно-ландшафтного земледелия и органическое вещество пахотных земель Предуралья. Пермь: Изд-во ПОНИЦАА, 2006. 190 с.
2. Косолапова А. И. Типовые модели систем адаптивно-ландшафтных систем земледелия для агроландшафтных условий Пермского края, обеспечивающие повышение продуктивности земель на 10-15 % и охрану окружающей среды: рекомендации. Пермь, 2006. 38 с.

3. Герасимов Г. А., Мирскова О. Н. Деятельность земских агрономических смотрителей в бывшей Пермской губернии по оказанию агрономической помощи крестьянским хозяйствам в 80-90-х гг. XIX века. Труды Пермского СХИ. Пермь, 1970. Т. 67. С. 3-29.
4. Гриценко С. В., Жаворонкова Г. И., Варгин Владимир Николаевич. Под общ. ред. Ю. Н. Зубарева, С. Л. Елисеева. Пермь: ИПЦ «ПрокростЪ», 2017. 267 с.
5. Зубарев Ю. Н., Елисеев С. Л., Гриценко С. В., Жаворонкова Г. И., Олехов В. Р. и др. Без малого сто: Пермская государственная сельскохозяйственная академия с 1918 года в высшем сельскохозяйственном образовании – время выбрало нас. Под общ. ред. Ю. Н. Зубарева. Пермь: Изд-во ФГОУ ВПО Пермская ГСХА, 2013. 302 с.
6. Николаев С. Ф. Учёный-агроном В. Н. Варгин. (Замечательные люди Прикамья). Пермь: Пермское книжное издательство, 1966. 70 с.
7. Пермская государственная опытная станция. Коллектив авторов. Под общ. ред. Л. Г. Сорокина. Пермь: Пермское книжное издательство, 1980. 47 с.
8. Пермская государственная опытная станция: буклет. Пермь: Пермское книжное издательство, 1988. 44 с.

References

1. Kosolapova A. I., Zavyalova N. E. Agroecological aspects of adaptive landscape agriculture and organic matter of arable lands in the Urals. Perm': *Izd-vo PONITsAA*, 2006. 190 p.
2. Kosolapova A. I. Standard models of systems of adaptive-landscape farming systems for agrolandscape conditions of Perm Region, providing 10-15 % increase in land productivity and environmental protection: recommendations. Perm', 2006. 38 p.
3. Gerasimov G. A., Mirskova O. N. The activities of zemstvo agronomic supervisors in the former Perm province for providing agronomic assistance to peasant farms in the 80-90s of the XIX century. *Tr. Permskogo SKhI*. Perm', 1970. Vol. 67. pp. 3-29.
4. Gritsenko S. V., Zhavoronkova G. I., Vargin Vladimir Nikolaevich. *Pod obshch. red. Yu. N. Zubareva, S. L. Eliseeva*. Perm': *IPTs «Prokrost»*, 2017. 267 p.
5. Zubarev Yu. N., Eliseev S. L., Gritsenko S. V., Zhavoronkova G. I., Olekhov V. R. et al. Nearly a hundred: Perm State Agricultural Academy is in higher agricultural education since 1918 - time has chosen us. *Pod obshch. red. Yu. N. Zubareva*. Perm': *Izd-vo FGOU VPO Permskaya GSKhA*, 2013. 302 p.
6. Nikolaev S. F., Agronomist V. N. Vargin. (Remarkable people of the Kama region). Perm': *Permskoe knizhnoe izdatel'stvo*, 1966. 70 p.
7. Perm State Experimental Station. The team of authors. *Pod obshch. red. L. G. Sorokina*. Perm': *Permskoe knizhnoe izdatel'stvo*, 1980. 47 p.
8. Perm State Experimental Station: booklet. Perm': *Permskoe knizhnoe izdatel'stvo*, 1988. 44 p.

Сведения об авторах

✉ **Корляков Константин Николаевич**, кандидат с.-х. наук, зам. директора по научной работе, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5715-2027>, e-mail: korlyakovkn@rambler.ru

Огородов Иван Петрович, кандидат экон. наук, директор, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru

Information about the authors

✉ **Konstantin N. Korlyakov**, PhD in Agricultural Science, deputy director for scientific work, Perm Research Institute of Agriculture – division of 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: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5715-2027>, e-mail: korlyakovkn@rambler.ru

Ivan P. Ogorodov, PhD in Economics, director, Perm Research Institute of Agriculture – division of 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: pfperm@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.346-358>

УДК 619:578.835.2:616-036.22

Ящур: факторы риска и меры контроля (обзор)

© 2023. О. А. Бурова ✉, О. И. Захарова, И. В. Яшин, С. Ш. Хайбрахманова, О. В. Жучкова, Н. А. Гребнев, А. А. Блохин

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

Ящур классифицируется Всемирной организацией по охране здоровья животных (далее – МЭБ) как болезнь из Списка А. Учитывая возможность быстрого распространения болезни, все подозрительные случаи необходимо незамедлительно регистрировать и расследовать. Понимание механизма распространения ящура и мер его контроля является ключом к расследованию вспышек и позволяет проследить источник вспышки наряду с потенциальными путями дальнейшего распространения. Ящур эндемичен на обширных территориях Африки, Азии и Южной Америки. В 2022 г. неблагоприятными по ящуру странами остаются: Казахстан, Монголия, Китай, Израиль, Индонезия, ОАЭ, Палестина, Алжир, Ботсвана, Замбия, Зимбабве, Малави, Мозамбик, Тунис, ЮАР. В России в 2022 г. ящур не регистрировался. Различают семь серотипов вируса ящура: О, А, С, Азия 1, SAT 1, SAT 2 и SAT 3. К нему восприимчивы крупный рогатый скот, буйволы, овцы, свиньи, козы, африканские буйволы, олени, яки и другие парнокопытные. Наиболее вероятны два основных пути заражения животных: алиментарный и воздушно-капельный, а также контактно через ссадины, загрязненные инструменты или искусственное осеменение. После клинического выздоровления до 50 % жвачных животных становятся персистентно инфицированными и считаются «носителями». Ключевые факторы риска заноса вируса – введение в стадо нового животного с неизвестным статусом вакцинации от ящура, сезонность, отсутствие вакцинации, размер стада. Причиной инфекции часто является неконтролируемое или незаконное перемещение скота. Основной риск заноса ящура исходит от домашнего скота, транспортных средств, людей, непосредственно работающих с восприимчивым к ящуру скотом, дикими животными. Ключевые принципы биобезопасности – изоляция больных животных, очистка и дезинфекция помещений и инвентаря. Ящур является основным препятствием для международной торговли скотом и продуктами животного происхождения, поэтому страны, свободные от болезни, принимают повышенные меры предосторожности, чтобы предотвратить проникновение вируса.

Ключевые слова: вирус, этиология, распространение, профилактика**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (тема № FGNM-2022-0004).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Бурова О. А., Захарова О. И., Яшин И. В., Хайбрахманова С. Ш., Жучкова О. В., Гребнев Н. А., Блохин А. А. Ящур: факторы риска и меры контроля (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):346-358. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.346-358>

Поступила: 22.12.2022

Принята к публикации: 03.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Foot and mouth disease: risk factors and control measures (review)

© 2023. Olga A. Burova ✉, Olga I. Zakharova, Ivan V. Iashin, Svetlana Sh. Khaibrakhmanova, Olga V. Zhuchkova, Nikita A. Grebnev, Andrey A. Blokhin

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

Foot-and-mouth disease (FMD) is classified by the World Organization for Animal Health (OIE) as a Schedule A disease. Given the potential for rapid spread of the disease, all suspected cases should be reported and investigated immediately. Understanding the mechanism of FMD spread and control measures is key to outbreak investigation and allows the source of an outbreak to be traced along with potential routes of further spread. Foot-and-mouth disease is endemic in vast areas of Africa, Asia and South America. In 2022, the following countries remain unfavorable for FMD: Kazakhstan, Mongolia, China, Israel, Indonesia, UAE, Palestine, Algeria, Botswana, Zambia, Zimbabwe, Malawi, Mozambique, Tunisia, South Africa. In Russia, in 2022, foot and mouth disease was not registered. There are seven serotypes of foot-and-mouth disease virus: O, A, C, Asia 1, SAT 1, SAT 2 and SAT 3. Cattle, buffalo, sheep, pigs, goats, African buffalo, deer, yaks and other artiodactyls

are susceptible to it. The two principle ways in which an animal can become infected are by inhalation of virus particles in the air, and by ingestion of food material containing virus particles, also through abrasions, contaminated instruments or artificial insemination. Up to 50 % of ruminant animals become persistently infected after clinical recover and termed a "carrier". Key risk factors for virus introduction are the introduction of a new animal into the herd with an unknown FMD vaccination status, seasonality, lack of vaccination, herd size. The cause of infection is often the uncontrolled or illegal movement of livestock. The main risk of FMD introduction comes from livestock, vehicles, people directly working with livestock susceptible to FMD, wild animals. The key principles of biosecurity are isolation of sick animals, cleaning and disinfection of premises and equipment. Foot-and-mouth disease is a major barrier to international trade in livestock and animal products, so countries free of the disease are taking increased precautions to prevent the virus from entering.

Keywords: virus, etiology, spread, prevention

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Virology and Microbiology (theme No. FGNM-2022-0004).

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

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

For citations: Zakharova O. I., Burova O. A., Yashin I. V., Khaibrakhmanova S. Sh., Zhuchkova O. V., Grebnev N. A., Blokhin A. A. Foot and mouth disease: risk factors and control measures (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):346-358. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.346-358>

Received: 22.12.2022

Accepted for publication: 03.05.2023

Published online: 28.06.2023

Ящур – тяжелая острая контагиозная везикулярная вирусная болезнь домашних и диких парнокопытных животных. Она характеризуется образованием везикул (заполненных жидкостью) и эрозий в ротовой и носовой полости, на сосках и копытцах.

Ящур классифицируется Всемирной организацией по охране здоровья животных (далее – МЭБ) как болезнь из Списка А. Это связано с тем, что ящур имеет потенциал для быстрого и обширного распространения внутри стран и между ними и может привести к тяжелым экономическим последствиям. Несмотря на то, что ящур не вызывает высокой смертности у взрослых животных, он приводит к серьезным хозяйственно-экономическим потерям и является серьезным препятствием в международной торговле [1].

Клиническая диагностика ящура затруднена в связи с тем, что симптомы болезни часто слабо выражены (например, у овец и коз) [2, 3, 4]. К тому же, некоторые штаммы вируса могут иметь низкую вирулентность и вызывать лишь единичные случаи [5]. Кроме того, некоторые другие вирусные везикулярные заболевания имеют схожие клинические признаки, например везикулярная болезнь свиней, везикулярный стоматит [6]. Таким образом, для постановки окончательного диагноза требуется лабораторное подтверждение. Учитывая возможность быстрого распространения ящура, все подозрительные случаи необходимо в кратчайшие сроки регистрировать и расследовать, используя быстрые и точные тесты. Это позволит своевременно принять необходимые меры контроля.

В настоящее время ящур ликвидирован во многих странах, и ведется строгий контроль для предотвращения повторного заноса болезни в свободные от ящура регионы [7]. Страны, эндемичные по ящуру, имеют очень ограниченный экспортный рынок продуктов животноводства. Вспышка в ранее свободной стране может иметь тяжелые последствия [1]. Косвенные потери также происходят из-за затрат на борьбу с болезнью, таких как вакцинация, карантин и временные ограничения. Примером этого являются ограничения на передвижение, торговлю и убой скота. Затраты на ликвидацию болезни в случае вспышки могут быть чрезвычайно высокими из-за таких мер, как выбраковка зараженного поголовья. По оценкам экспертов, производственные потери и затраты на вакцинацию против ящура составляют от 6,5 до 21 миллиарда долларов США [8].

Понимание механизма распространения ящура и мер его контроля является ключом к расследованию вспышек и позволяет проследить источник вспышки ящура наряду с потенциальными путями дальнейшего распространения. Этот процесс имеет решающее значение в борьбе с болезнью.

Цель обзора – обобщить актуальные научные данные по эпизоотологии, патогенезу, диагностике и профилактике ящура с целью оценки риска заноса и распространения болезни на свободные территории.

Материал и методы. Поиск источников проводили путём скрининга международных баз научного цитирования Web of Science, PubMed, Scopus, Google Scholar, Mendeley и базы Российского научного цитирования. Критериями

служили ключевые слова: ящур (foot and mouth disease), вирус (virus), этиология (etiology), распространение (spread), факторы риска (risk factors), профилактика (prevention). После исключения повторяющихся и непроверенных данных, выбора публикаций, полностью соответствующих цели работы, отобрано 52 источника.

Основная часть. Этиология. Вирус ящура представляет собой небольшой безоболочечный РНК-вирус (семейство *Picornoviridae*, род *Aphthovirus*). Отсутствие оболочки указывает на то, что вирус обладает высокой устойчивостью в окружающей среде. Кроме того, РНК-вирусы демонстрируют частые спонтанные мутации, что приводит к появлению новых линий вируса. По антигенной структуре различают семь иммунологически различных серотипов вируса ящура с неразличимыми клиническими признаками: О, А, С, Азия 1, SAT (Южноафриканские территории) 1, SAT 2 и SAT 3. Восстановление после инфекции или защитная вакцинация от одного серотипа не защитит от последующего заражения другим [9]. Кроме большого разнообразия серотипов вируса, внутри каждого из них может встречаться несколько антигенных вариантов – штаммов [10].

Распространение. Ящур эндемичен на обширных территориях Африки, Азии и Южной Америки. Вирус ящура демонстрирует способность пересекать международные границы и вызывать эпидемии в ранее благополучных районах, о чем свидетельствует эпидемия 2001 г. в Великобритании и континентальной Европе, вспышки в 2000 г. в Японии и Южной Корее [11]. Было подсчитано, что прямые затраты на ликвидацию эпидемии в Великобритании в 2001 году составили 2,75 миллиарда фунтов стерлингов. Косвенные издержки от совокупных потерь сельскохозяйственного экспорта и торговли точно оценить трудно, но, вероятно, они составили дополнительные 5,25 миллиарда фунтов стерлингов.

В последние годы значительные улучшения эпизоотической обстановки произошли в Южной Америке и Юго-Восточной Азии. Европа, Северная и Центральная Америка, тихоокеанские, карибские острова официально признаны МЭБ свободными от ящура без вакцинации.

В России, начиная с 2006 года, ящур диагностировался ежегодно (рис. 1). За период 2018-2020 гг. территория Российской Федерации оставалась неблагополучной по этой инфекции. В 2018 г. ящур был диагностирован на территории Забайкальского края, в 2019 г. был выявлен в трёх субъектах РФ. С начала 2021 года ящур в России не регистрировался, но в ноябре 2021 г. новая вспышка ящура была зафиксирована в Забайкальском крае¹, которая носила массовый характер. Данный регион часто становится неблагополучным по ящуру, что, с одной стороны, связано с его приграничным положением, а с другой – особенностями местного скотоводства – животные выпасаются безнадзорно, своевременная профилактика болезни в ряде случаев не проводится.

По данным Россельхознадзора на 01.12.2022 года, ящур на территории России не регистрировался. В целом наибольшая угроза заноса вируса ящура на территорию Российской Федерации имеет место при ввозе инфицированной (или контаминированной) продукции животного происхождения, особенно с сопредельных стран. Неблагополучными по ящуру странами (данные МЭБ на 31.10.2022)², имеющими общие границы или торговые (туристические) связи с Российской Федерацией, в настоящее время остаются: Казахстан, Монголия, Китай, Израиль, Индонезия, ОАЭ, Палестина, Алжир, Ботсвана, Замбия, Зимбабве, Малави, Мозамбик, Тунис, ЮАР. Проведенный анализ эпизоотической ситуации по ящуру в мире, в первую очередь в странах, которые граничат с Россией, а также в сопредельных государствах, свидетельствует о том, что данная болезнь остаётся серьёзной угрозой для ветеринарной службы нашей страны.

Восприимчивые животные. К ящуру восприимчивы крупный рогатый скот, буйволы, овцы, свиньи, козы. Наряду с этими основными домашними видами известно более 70 других восприимчивых видов животных [12]. Из диких видов животных наиболее восприимчивы к ящуру дикие свиньи, африканские буйволы, олени, яки. Верблюды, ламы и альпаки также могут быть инфицированы, хотя болезнь у этих видов часто протекает субклинически, а их эпизоотологическая значимость неясна. Важно отметить, что ящур является зоонозом и передается человеку от зараженного животного [13].

¹Эпидситуация по ящуру в Российской Федерации. Хронология. [Электронный ресурс].

URL: <https://fsvps.gov.ru/ru/iac/rt/yashchur/hronologiya> (дата обращения: 27.10.2022).

²WAHIS: Всемирная информационная система здоровья животных [Электронный ресурс].

URL: <https://wahis.woah.org/#/event-management> (дата обращения: 15.11.2022).



Рис. 1. Эпизоотическая ситуация по ящуру в России с 2006 по 2021 год /
Fig. 1. FMD epizootic situation in Russia from 2006 to 2021

Патогенез. Первичная репликация вируса ящура происходит в верхних дыхательных путях с последующей вирусемией, вследствие чего возникает лихорадка и связанные с ней вялость, анорексия, снижение молочной продуктивности [14]. Вторичная репликация вируса происходит в эпителиальных участках, включая копытный венчик, ткани между копытцами, язык, десны, соски, ткани сердца у молодняка. В местах вторичной репликации образуются пузырьки (везикулы), которые затем разрываются с образованием эрозий. По внешнему виду этих поражений можно оценить период заражения животного, что важно для эпизоотологических исследований. Вирус ящура выделяется при разрыве везикул, с выдыхаемым воздухом, а также может быть обнаружен во всех экскретах. Выделение вируса может происходить за 2 дня до или при появлении клинических признаков, но экспериментально вирус может быть обнаружен в молоке за 4 дня до появления клинических признаков [6].

Наиболее вероятны два основных пути заражения животных: воздушно-капельный и алиментарный. Для всех видов восприимчивых животных при алиментарной инфекции требуются более высокие дозы вируса, чем

при респираторной инфекции. Наряду с этими первичными путями заражения, животные также могут заражаться через ссадины, загрязненные инструменты или искусственное осеменение [6, 14].

У жвачных животных основной путь проникновения возбудителя – воздушно-капельный, где даже очень низкая доза вируса может инициировать инфекцию. По сравнению со жвачными, свиньи относительно устойчивы к воздушно-капельному заражению и чаще заражаются алиментарным путем, в то время как у жвачных животных такой механизм передачи встречается редко. Кормление свиней пищевыми отходами, содержащими инфицированный материал, является потенциальным путем проникновения ящура на благополучные территории [15].

Инкубационный период может варьироваться от 1 до 14 дней (очень редко бывает короче одного дня). Наиболее вероятный срок инкубационного периода – от 2 до 6 дней. Выделение вируса может начаться за 2 дня до появления клинических признаков, достигает пика в течение двух дней от момента появления клинических признаков и прекращается чаще всего через 4-5 дней после их появления [14].

Большое количество вируса обычно выделяется с выдыхаемым воздухом, особенно у свиней. Инфицированная свинья может производить до 400 миллионов инфекционных доз в день, жвачные животные выделяют максимум 120 тысяч доз. По этой причине свиньи рассматриваются как важные резервуары ящура, способные производить огромное количество вируса, передающегося воздушно-капельным путем. Это особенно важно, если ящуром заражено большое количество свиней, содержащихся вместе. В этом случае создаются шлейфы переносимого по воздуху вируса, что может привести к заражению животных в помещениях, находящихся на значительном удалении [16].

Клинические признаки. Характерные клинические признаки ящура – угнетённое

состояние, анорексия, лихорадка, хромота, животные часто принимают лежачее положение, снижение молочной продуктивности, гиперсаливация (характерные «чмокающие» звуки у крупного рогатого скота), везикулы и эрозии на носовом зеркале, внутри ротовой полости, на внутренней поверхности бедра и в межкопытцевой щели (рис. 2), внезапная смерть у новорожденных животных, аборт. Ящур вызывает тяжелое и часто изнурительное состояние в острой фазе, особенно у крупного рогатого скота и свиней. Хотя большинство пораженных животных выздоравливают, такие последствия, как хронические инфекции копытца или мастит, могут повлиять на здоровье и продуктивность животных спустя долгое время после острого течения болезни [6].



Рис. 2. Клиническая картина ящура у крупного рогатого скота. Поражения ротовой полости (а), копытца (б), вымени (в)³ /

Fig. 2. Clinical signs of foot and mouth disease in cattle. Lesions of the mouth (a), hooves (b), udder (c)

У крупного рогатого скота и свиней инфекция проявляется явной клинической картиной, что позволяет легко распознать болезнь. Ящур у крупного рогатого скота часто протекает тяжело, с выраженным угнетением, анорексией и апатией. У дойных коров снижение лактации часто происходит до появления других клинических признаков. Слюнотечение может быть обильным, больные животные могут скрипеть зубами из-за боли во рту. Также наблюдается внезапная гибель телят из-за миокардита, а у стельных коров – аборты. Признаки обычно более выражены у крупного рогатого скота европейских пород, таких как фризская или джерсейская [17].

Ящур у свиней обычно протекает тяжело, свиньи неохотно встают и визжат от боли, если их заставляют ходить. Некоторые животные могут вынужденно принимать позу «сидячей собаки». На носовом зеркале, в ротовой полости и на конечностях обнаруживаются

везикулы или разрывы кожи. Поражения наиболее заметны на копытцах, где они формируются на венечном тяже, а также на пяточном бугорке или в межпальцевой щели (рис. 3). Возможно отторжение копытного башмака. У поросят может наступить внезапная смерть из-за миокардита [18].

Мелкие жвачные – овцы и козы – часто проявляют лишь легкие клинические признаки ящура [19]. Везикулы часто очень маленькие и их трудно увидеть. На копытцах везикулы присутствуют на венечной полосе, а также в межпальцевом пространстве. Эти симптомы могут быть упущены владельцами скота или ветеринарами. Ящурные поражения у овец, особенно на конечностях, могут быть транзиторными и быстро заживать или вторично инфицироваться другими патогенами, что может осложнить диагностику. Возможна внезапная гибель ягнят из-за миокардита и абортов у взрослых беременных овец [20].

³Ящур. Введение. Курсы EuFMD [Электронный ресурс].

URL: <https://eufmdlearning.works/enrol/index.php?id=118> (дата обращения: 14.07.2022).

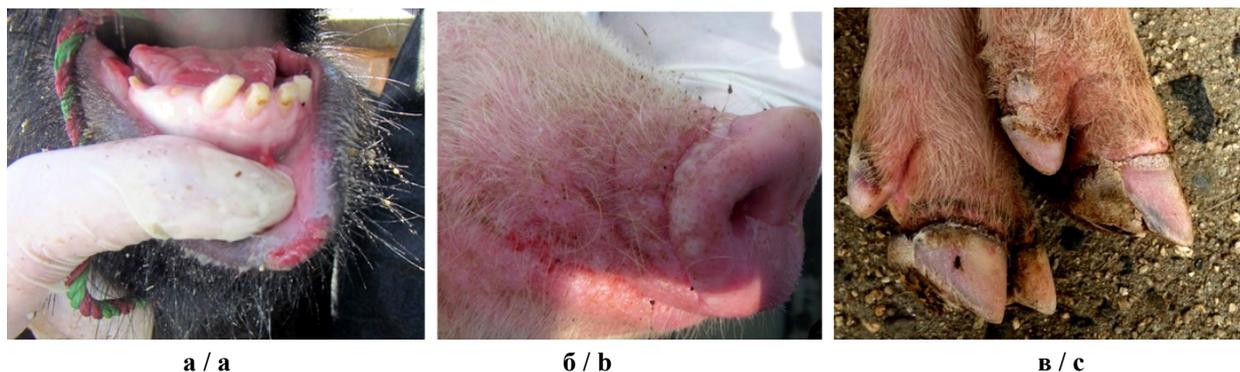


Рис. 3. Клиническая картина ящура у свиней. Поражения в ротовой полости (а), на пятачке (б), на копытцах (в)⁴/

Fig. 3. Clinical signs of foot and mouth disease in pigs. Lesions in the mouth (a), on the patch (b), on the hooves (c)

Иммунитет к ящуру в первую очередь опосредован антителами. Антитела начинают выявляться через 3-5 дней после появления первых клинических признаков, а высокие уровни антител регистрируют через 2-4 дня (5-9 дней после появления клинических признаков) [14]. Ящурные повреждения заживают примерно в течение 10 дней. Вторичные последствия ящура, такие как бактериальные инфекции копытцев или мастит, могут приводить к тому, что полное выздоровление занимает гораздо больше времени [18].

Титр антител у жвачных животных остается высоким и выявляется в течение нескольких лет после заражения. У свиней, напротив, антитела могут обнаруживаться только в течение нескольких месяцев, особенно у быстрорастущего молодняка [6].

Носительство. После клинического выздоровления до 50 % жвачных животных становятся персистентно инфицированными, причем это происходит независимо от иммунного статуса животного. Животное, у которого вирус сохраняется в ротоглотке более 28 дней после заражения, считается «носителем» [4, 21, 22].

В эндемичных по ящуру странах крупный рогатый скот не играет важной роли в эпизоотологии ящура [23]. Вероятность передачи от крупного рогатого скота-носителя, не имеющего клинических признаков болезни, другому животному того же вида низка или незначительна, за исключением роли африканских буйволов в Южной Африке. Имеются данные о вспышках в Зимбабве в 1989 и 1991 гг., которые связывают африканских буйволов со

вспышками ящура среди крупного рогатого скота [4]. Экспериментально была продемонстрирована передача инфекции от буйвола-носителя крупному рогатому скоту.

В качестве одной из мер борьбы с ящуром все потенциальные носители (т. е. инфицированные животные) должны быть уничтожены, даже если они клинически здоровы. Только в этом случае страна будет иметь статус благополучной по ящуру [4].

Диагностика. Лабораторная диагностика применяется для подтверждения или исключения ящура после клинического подозрения. Лабораторные исследования также могут дать дополнительную информацию, полезную для эпизоотологических расследований, такую как серотип и штамм присутствующего вируса. Эта информация важна для понимания происхождения вируса, а также для выбора вакцины. В зависимости от стадии заболевания могут быть взяты пробы для выявления вируса ящура или для выявления антител к нему [24].

Риск заноса ящура и меры его снижения. Вероятность завоза ящура из другой страны или региона определяется наличием в этом регионе хотя бы одного положительного случая в год [7]. Ключевые факторы риска заноса вируса – введение в стадо нового животного с неизвестным статусом вакцинации от ящура, сезонность, отсутствие вакцинации, размер стада. Незаконный ввоз продуктов животного происхождения из стран, неблагополучных по ящуру, остается одним из основных рисков его заноса. Такие продукты могут попасть животным, восприимчивым к ящуру [25, 26, 27, 28].

⁴URL: <https://eufmdlearning.works/enrol/index.php?id=118>

Используя эпизоотологические подходы, можно определить основные факторы риска, важные для возникновения ящура в отдельных регионах. Инструменты исследования должны включать интервью с владельцами животных и структурированные опросники. Данные опросов показывают, что совместный выпас, неконтролируемое перемещение и рынки по продаже скота являются основными факторами риска возникновения ящура [29, 30]. В других исследованиях доказано, что регион, возраст и порода у крупного рогатого скота также имеют статистически значимую связь с серопозитивностью ($p < 0,05$) [17, 31].

Высокий риск заноса ящура из неблагополучной на свободную от инфекции территорию связан с контагиозной природой ящура. Факторы риска заноса вируса включают: низкие инфекционные дозы; большое количество вируса, выделяемого инфицированными животными; способность вируса сохраняться в окружающей среде и на контаминированных предметах; широкий круг хозяев и низкую смертность [32].

Для инфицирования ящуром требуются достаточно низкие инфекционные дозы, а вирус продуцируется в очень больших количествах инфицированными животными, он присутствует во всех секретах и выделениях [33]. Ящур является болезнью с высокой заболеваемостью и низкой смертностью, поэтому инфицированные животные сохраняют жизнеспособность для заражения других [25].

Вирус способен сохраняться в окружающей среде и на инфицированных предметах [33]. Выживание вируса ящура в окружающей среде зависит от ее рН, температуры, влажности и исходной концентрации. Выживанию возбудителя благоприятствует повышенная влажность и низкая температура. Высокая исходная концентрация вируса будет способствовать более длительному выживанию, по крайней мере, некоторых вирусных частиц.

Важно отметить, что вирус ящура чувствителен к небольшим изменениям рН, и возможный риск его распространения можно снизить, если проводить адекватную очистку и дезинфекцию [34]. Вирус инактивируется при рН ниже 6,5 и выше 9,0 [35].

Основной риск заноса ящура исходит от перевозчиков скота. Меры, направленные на контроль за ввозом животных из стран, где заболевание носит эндемический или спорадический характер, варьируются от полного эмбарго до карантина и тестирования [36].

Вирус ящура может переноситься на обуви, одежде или других предметах, перевозимых людьми или транспортными средствами, перемещающимися между благополучными и неблагополучными по ящуру странами. Люди, непосредственно работающие с восприимчивым к ящуру скотом, представляют особый риск [37].

Дикие кабаны и олени в Европе и других регионах мира являются бесконтрольными переносчиками вируса ящура, так как могут свободно перемещаться между странами, благополучными и неблагополучными по ящуру [38].

Риск распространения ящура и меры его снижения. Чтобы проводить расследование вспышки ящура, необходимо понимать потенциальные пути его распространения, среди которых выделяют: прямой контакт с животными; продукты животного происхождения; механическое распространение; ветер [16, 33].

Когда вспышка ящура происходит в ранее благополучной стране, жизненно важной частью реагирования на вспышку является проведение тщательного расследования ее возникновения. Эпизоотологическое расследование должно определить:

1. Как долго регистрируется заболевание?
2. Возможные источники заноса болезни: откуда взялась болезнь?
3. Какие перемещения животных, людей, транспортных средств или других предметов быта могли привести к дальнейшему распространению болезни: куда могла передаться болезнь?
4. Масштабы проблемы: количество и доля пораженных животных, определение эпидемиологических единиц и популяции, подверженной риску [39].

Для выявления источника вируса используют метод построения временной шкалы, который является полезным способом представления периодов времени, в течение которых могло иметь место заражение и передача болезни, что помогает при расследовании вспышек [40]. Для построения шкалы определяют временное «окно», когда вирус мог быть занесен на данную территорию, исходя из инкубационного периода, и временное «окно», когда могла произойти дальнейшая передача ящура, с использованием периода экскреции вируса. Для этого используется метод, называемый «lesion ageing» («старение поражения»), чтобы определить вероятную дату, когда кли-

нические признаки ящура впервые появились у данных животных. Объединив знания об инкубационном периоде и периоде экскреции, можно определить эти временные «окна» [41].

После того, как временная шкала установлена, следующим шагом является её использование для отслеживания источника и распространения, чтобы установить контакты, которые могли привести к передаче вируса в расчетные временные «окна». К контактам относятся перемещения животных, продуктов животного происхождения и предметов (включая одежду людей и транспортные средства). Информация собирается для определения дат и типов, имевших место контактов. Сбор информации обычно включает в себя: опрос владельцев скота и персонала, работающего на территории; изучение планировки фермы и ведения хозяйства; чтение записей, таких как журналы посещений или записи перемещений животных.

Биобезопасность – реализация мероприятий, снижающих риск заноса и распространения возбудителя болезни. Биобезопасность требует определенного отношения и поведения, чтобы снизить риск во всех видах деятельности, связанных с животными и их продуктами. Ветеринарный персонал, посещающий фермы во время вспышки ящура, находится в тесном контакте с зараженными животными и часто перемещается между помещениями. Поэтому он представляет собой высокий риск распространения ящура. Ветеринары должны подавать пример и демонстрировать надлежащую биобезопасность, чтобы побудить другой персонал применять аналогичные меры. Необходимо соблюдать полную биобезопасность при посещении любых помещений, где есть подозрение на ящур [42].

Существуют три ключевых принципа обеспечения биобезопасности: изоляция, очистка, дезинфекция. На входе в помещение, где есть подозрение на ящур, должен быть установлен входной пункт биозащиты со средствами дезинфекции. На выходе из помещения, где есть подозрение на ящур, также должен быть установлен выходной пункт биозащиты со средствами дезинфекции [43].

После подтверждения диагноза необходимо определить границы зон защиты и

наблюдения. Защитная зона – территория вокруг зараженного ящуром хозяйства радиусом не менее 3 км, в пределах которой реализуются меры по выявлению новых случаев ящура и предотвращению распространения. Зона наблюдения аналогична зоне защиты, но имеет радиус не менее 10 км. Точные границы этих зон не обязательно должны быть круглыми, они должны учитывать естественные преграды, административные границы и другую соответствующую информацию.

В пределах защитной зоны применяются следующие меры:

1. Все животноводческие хозяйства должны быть зарегистрированы и проведен учет (перепись) всех животных.

2. Все восприимчивые животные в этих хозяйствах должны периодически проходить ветеринарный осмотр.

3. Восприимчивых животных нельзя перемещать из их владений, за исключением случаев экстренного убоя под официальным надзором.

4. Продукты животного происхождения, произведенные в защитной зоне, нельзя продавать или перемещать, за исключением определенных обстоятельств.

Меры, применяемые в защитной зоне, должны действовать в течение не менее 15 дней после забоя зараженных животных, проведения первой очистки и дезинфекции в зараженном хозяйстве и завершения надзора с отрицательными результатами во всех хозяйствах в пределах зоны. Меры, принимаемые в зоне наблюдения, в основном такие же, как и в пределах защитной зоны. Основное внимание исследований уделяется защитной зоне, поэтому в зоне наблюдения могут быть приняты менее интенсивные меры⁵.

Риск эндемизации и меры его снижения. Для скорейшего устранения последствий вспышки ящура на ранее благополучной территории и снижения риска эндемизации необходимо использовать дополнительные стратегии борьбы с болезнью. В дополнение к описанным ранее, меры контроля могут также включать более широкий запрет на передвижение скота и выбраковку контактных животных. В некоторых сценариях могут потребоваться дальнейшие действия для эффективного контроля

⁵URL: <https://eufmdlearning.works/enrol/index.php?id=118>

вспышки: депопуляция восприимчивых животных в пределах определенного радиуса от зараженного очага; экстренная (защитная или тотальная) вакцинация [44].

Вакцины против ящура широко используются для борьбы с болезнью в эндемичных регионах [45]. Вакцины применяются в качестве рутинного профилактического средства или как часть экстренного реагирования на вспышку. Профилактическая вакцинация против ящура была отменена в Европейском союзе в 1992 г., и в настоящее время вакцинация применяется только в ответ на вспышку [44].

Важно отметить, что вакцинация не всегда предотвращает инфекцию, поскольку некоторые вакцинируемые животные могут быть персистоно инфицированы [46]. Но даже в этом случае риск возникновения ящура снижается примерно на 50 % [47, 48]. Необходимо отметить, что меры, направленные на повышение доступности вакцин и распространение информации о профилактике заболевания и методах вакцинации в хозяйствах любого размера, могут повысить уровень вакцинации от ящура и тем самым снизить риск возникновения вспышки [49, 50, 51].

Защитная вакцинация включает в себя вакцинацию определенных групп животных на территории для защиты их от инфекции. Она обычно проводится за пределами зараженного района и до контакта с ним. Защитная вакцинация применяется в качестве кольцевой вакцинации или направлена на предприятия с высокой степенью риска или высокой стоимостью, такие как зоопарки или центры репродукции. Обычно предполагается, что вакцинированные и неинфицированные животные останутся в популяции после вспышки [44].

Тотальная вакцинация включает вакцинацию животных в пределах известной зараженной зоны для снижения передачи вируса. Её можно использовать в случаях: когда возможности по отбраковке и утилизации туш в течение короткого периода времени исчерпаны; когда инфраструктура находится в плохом состоянии, человеческие ресурсы недостаточны или санитарный убой задерживается; для преодоления проблем, связанных с ограничениями передвижения [44].

Дальнейшее использование вакцинированных животных влияет на «период ожидания», прежде чем страна сможет подать заявку в МЭБ на официальное освобождение от ящура [52]. Страна, ранее неблагополучная по ящуру, может восстановить статус страны благополучной тремя способами:

1. Убой инфицированных животных, отсутствие вакцинации, серологический надзор для подтверждения отсутствия инфекции (минимум 3 месяца ожидания).

2. Убой инфицированных животных, вакцинация для удаления (удаление всех вакцинированных животных из популяции), серологический надзор для подтверждения отсутствия инфекции (минимум 3 месяца ожидания).

3. Убой инфицированных животных, остаточная вакцинация (вакцинированные животные остаются в популяции), серологический надзор для подтверждения отсутствия инфекции (минимум 6 месяцев ожидания)⁶.

Заключение. Эпизоотологическая значимость ящура определяется различными факторами. Так, множество хозяев, способность инфицировать малыми дозами, высокая скорость репликации и обильная экскреция, а также персистентность предопределяют разнообразие источников вируса, их высокую биологическую опасность и риск несвоевременной диагностики. Множественные пути передачи вируса, включая распространение по воздуху и бесконтрольную межгосударственную торговлю, способствуют его широкому и, что самое главное, свободному распространению болезни. Данные обстоятельства диктуют необходимость применения жестких мер контроля, включая убой больных и потенциально инфицированных животных, запрет торговли. При этом вакцинация не является панацеей от ящура и условием снятия эмбарго на торговлю животными и продукцией животноводства с эндемичных по ящуру стран. Наибольший риск представляет трансграничный занос ящура как из стран, непосредственно граничащих с Российской Федерацией (Казахстан, Китай, Монголия), так и из стран, осуществляющих импорт животноводческой продукции и кормов.

⁶Кодекс здоровья наземных животных МЭБ. Т.1. Общие положения. 2021. 535 с.

URL: https://tr-europe.waoh.org/wp-content/uploads/2022/06/oie_terrestrial_code_vol-1-2021_ru.pdf

References

1. Yang P. C., Chu R. M., Chung W. B., Sung H. T. Epidemiological characteristics and financial costs of the 1997 foot-and-mouth disease epidemic in Taiwan. *Veterinary Record*. 1999;145(25):731-734.
DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.145.25.731>
2. Callens M., De Clercq K., Gruia M., Danes M. Detection of foot-and-mouth disease by reverse transcription polymerase chain reaction and virus isolation in contact sheep without clinical signs of foot-and-mouth disease. *Veterinary Quarterly*. 1998;20 Suppl 2:S37-40. DOI: <https://doi.org/10.1080/01652176.1998.9694964>
3. Donaldson A. I., Alexandersen S., Sorensen J. H., Mikkelsen T. Relative risks of the uncontrollable (airborne) spread of FMD by different species. *Veterinary Record*. 2001;148(19):602-604.
DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.148.19.602>
4. Alexandersen S., Zhan & Z., Donaldson A. Aspects of the persistence of foot-and-mouth disease virus in animals- the carrier problem. *Microbes and Infection*. 2002;4(10):1099-1110.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s1286-4579\(02\)01634-9](https://doi.org/10.1016/s1286-4579(02)01634-9)
5. Donaldson A. I., Kihm U. Research and technological developments required for more rapid control and eradication of foot-and-mouth disease. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. 1996;15(3):863-873. DOI: <https://doi.org/10.20506/RST.15.3.957>
6. Alexandersen S., Zhang Z., Donaldson A. I., Garland A. J. The pathogenesis and diagnosis of foot-and-mouth disease. *Journal of Comparative Pathology*. 2003;129(1):1-36.
DOI: [https://doi.org/10.1016/s0021-9975\(03\)00041-0](https://doi.org/10.1016/s0021-9975(03)00041-0)
7. Wang J., Chen J., Zhang S., Ding Y., Wang M., Zhang H., Liang R., Chen Q., Niu B. Risk assessment and integrated surveillance of foot-and-mouth disease outbreaks in Russia based on Monte Carlo simulation. *BMC Veterinary Research*. 2021;17:268. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-021-02967-x>
8. Knight-Jones T. J. D., Rushton J. The economic impacts of foot and mouth disease - what are they, how big are they and where do they occur? Review. *Preventive Veterinary Medicine*. 2013;112(3-4):161-173.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2013.07.013>
9. Jamal S. M., Belsham G. J. Foot-and-mouth disease: past, present and future. *Veterinary Research*. 2013;44:116. DOI: <https://doi.org/10.1186/1297-9716-44-116>
10. Ludi A. B., Horton D. L., Li Y., Mahapatra M., King D. P., Knowles N. J., Russell C. A., Paton D. J., Wood J. L. N., Smith D. J., Hammond J. M. Antigenic variation of foot-and-mouth disease virus serotype A. *Journal of General Virology*. 2014;95(2):384-392. DOI: <https://doi.org/10.1099/vir.0.057521-0>
11. Knowles N. J., Samuel A. R., Davies P. R., Kitching R. P., Donaldson A. I. Outbreak of foot-and-mouth disease virus serotype O in the UK caused by a pandemic strain. *Veterinary record*. 2001;148:258-259.
12. Coetzer J. A. W., Thomsen G. R., Tustin R. C. Kriek N. P. J. *Infectious Diseases of Livestock: with Special Reference to Southern Africa*. Oxford University Press, Cape Town. 1994. pp. 825-852.
13. Premph H., Smith R., Müller B. Foot and mouth disease: the human consequences. The health consequences are slight, the economic ones huge. *BMJ*. 2001;10;322:565. DOI: <https://doi.org/10.1136/bmj.322.7286.565>
14. Charleston B., Rodriguez L. L. Understanding Foot-and-Mouth Disease Virus Early Pathogenesis and Immune Responses. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2011;58(4):281-282.
DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1865-1682.2011.01237.x>
15. Dame-Korevaar A., Boumans I. J. M. M., Antonis A. F. G., van Klink E., de Olde E. M. Microbial health hazards of recycling food waste as animal feed. *Future Foods*. 2021;4:100062.
DOI: <https://doi.org/10.1016/J.FUFO.2021.100062>
16. Coffman M. S., Sanderson M. W., Dodd C. C., Arzt J., Renter D. G. Estimation of foot-and-mouth disease windborne transmission risk from USA beef feedlots. *Preventive Veterinary Medicine*. 2021;195:105453.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2021.105453>
17. Woldemariam F. T., de Vleeschauwer A., Hundessa N., Muluneh A., Gizaw D., Tinel S., de Clercq K., Lefebvre D., Paeshuysse J. Risk Factor Assessment, Sero-Prevalence, and Genotyping of the Virus That Causes Foot-and-Mouth Disease on Commercial Farms in Ethiopia from October 2018 to February 2020. *Agriculture*. 2022;12(1):49. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture12010049>
18. Kitching R. P., Alexandersen S. Clinical variation in foot and mouth disease: pigs. *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*. 2002;21(3):513-518. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.21.3.1367>
19. Dekker A., Moonen P., Pol J. M. A. Linear hoof defects in sheep infected with foot-and-mouth disease. *Veterinary Record*. 2005;156(18):572-575. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.156.18.572>
20. Muthukrishnan M., Singanallur B. N., Villuppanoor A. S. Experimental Infection of Foot and Mouth Disease in Indian Sheep and Goats. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:356.
DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00356>
21. Suttmoller P., Gaggero A. Foot-and mouth diseases carriers. *Veterinary Record*. 1965;77(33):968-969.
DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.77.33.968>

22. Díez J., Hofner M., Domingo E., Donaldson A. I. Foot-and-mouth disease virus strains isolated from persistently infected cell cultures are attenuated for mice and cattle. *Virus Research*. 1990;18(1):3-7. DOI: [https://doi.org/10.1016/0168-1702\(90\)90084-o](https://doi.org/10.1016/0168-1702(90)90084-o)
23. Dekker A., Vernooij H., Bouma A., Stegeman A. Rate of Foot-and-Mouth Disease Virus Transmission by Carriers Quantified from Experimental Data. *Risk Analysis*. 2008;28(2):303-309. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2008.01020.x>
24. Wong C. L., Yong C. Y., Ong H. K., Ho K. L., Tan W. S. Advances in the Diagnosis of Foot-and-Mouth Disease. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:477. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00477>
25. Ali I., Rehman A., Mushtaq M. H., Ijaz M., Khaliq M. S., Khan M. S. U., Khalid S., Masud A., Abbas A., Parveen S., Saman A., Sauter-Louis C., Conraths F. J. Outbreak investigation and identification of risk factors associated with the occurrence of foot and mouth disease in Punjab, Pakistan. *Preventive Veterinary Medicine*. 2022;202:105613. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2022.105613>
26. Dubie T., Negash W. Seroprevalence of bovine foot and mouth disease (FMD) and its associated risk factors in selected districts of Afar region, Ethiopia. *Veterinary Medicine and Science*. 2021;7(5):1678-1687. DOI: <https://doi.org/10.1002/vms3.574>
27. Haoran W., Jianhua X., Maolin O., Hongyan G., Jia B., Li G., Xiang G., Hongbin W. Assessment of foot-and-mouth disease risk areas in mainland China based spatial multi-criteria decision analysis. *BMC Veterinary Research*. 2021;17(1):374. DOI: <https://doi.org/10.1186/s12917-021-03084-5>
28. Rahman A. K. M. A., Islam S. K. S., Sufian M. A., Talukder M. H., Ward M. P., Martínez-López B. Foot-and-mouth disease space-time clusters and risk factors in cattle and buffalo in Bangladesh. *Pathogens*. 2020;9(6):423. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens9060423>
29. Kerfua S. D., Nantima N., Ademun R., Ayebazibwe C., Okuthe S., Sserugga J., Ejobi F., Atim S., Lumu P. Using participatory epidemiology tools to determine perceived risk factors for foot-and-mouth disease occurrence in selected sub-counties of Isingiro district in Uganda. *Journal of Veterinary Medicine and Animal Health*. 2021;13(4):160-166. DOI: <https://doi.org/10.5897/jvmah2020.0899>
30. Sansamur C., Arjkumpa O., Charoenpanyanet A., Punyapornwithaya V. Determination of risk factors associated with foot and mouth disease outbreaks in dairy farms in Chiang Mai Province. Northern Thailand. *Animals*. 2020;10(3):512. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani10030512>
31. Ahmed B., Megersa L., Mulatu G., Siraj M., Boneya G. Seroprevalence and Associated Risk Factors of Foot and Mouth Disease in Cattle in West Shewa Zone, Ethiopia. *Veterinary Medicine International*. 2020:6821809. DOI: <https://doi.org/10.1155/2020/6821809>
32. Kitching R. P., Hutber M., Thrusfield M. V. A review of foot-and-mouth disease with special consideration for the clinical and epidemiological factors relevant to predictive modeling of the disease. *The Veterinary Journal*. 2005;169(2):197-209. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tvjl.2004.06.001>
33. Bartley L. M., Donnelly C. A., Anderson R. M. Review of foot-and-mouth disease virus survival in animal excretions and on fomites. *Veterinary Record*. 2002;151(22):667-669. DOI: <https://doi.org/10.1136/vr.151.22.667>
34. Jansen van Vuren P., Singanallur N. B., Keck H., Eschbaumer M., Vosloo W. Chemical inactivation of foot-and-mouth disease virus in bovine tongue epithelium for safe transport and downstream processing. *Journal of Virological Methods*. 2022;305:114539. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JVIROMET.2022.114539>
35. Caridi F., Vázquez-Calvo A., Sobrino F., Martín-Acebes M. A. The pH Stability of Foot-and-Mouth Disease Virus Particles Is Modulated by Residues Located at the Pentameric Interface and in the N Terminus of VP1. *Journal of Virology*. 2015;89(10):5633-5642. DOI: <https://doi.org/10.1128/JVI.03358-14>
36. Osmani A., Robertson I. D., Habib I. Seroprevalence and risk factors for foot-and-mouth disease in cattle in Baghlan Province, Afghanistan. *Veterinary Medicine and Science*. 2021;7(4):1263-1275. DOI: <https://doi.org/10.1002/vms3.477>
37. Auty H., Mellor D., Gunn G., Boden L. A. The Risk of Foot and Mouth Disease Transmission Posed by Public Access to the Countryside During an Outbreak. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019;6:381. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00381>
38. Croft S., Aegerter J. N., Massei G., Smith G. C. The risk of foot-and-mouth disease becoming endemic in a wildlife host is driven by spatial extent rather than density. *PLoS ONE*. 2019;14(6):e0218898. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0218898>
39. Yano T., Premashthira S., Dehyong T., Tangtrongsup S., Salman M. D. The Effectiveness of a Foot and Mouth Disease Outbreak Control Programme in Thailand 2008-2015: Case Studies and Lessons Learned. *Veterinary Sciences*. 2018;5(4):101. DOI: <https://doi.org/10.3390/vetsci5040101>
40. Cottam E. M., Thébaud G., Wadsworth J., Gloster J., Mansley L., Paton D. J., King D. P., Haydon D. T. Integrating genetic and epidemiological data to determine transmission pathways of foot-and-mouth disease virus. *Proceedings of the Royal Society B*. 2008;275(1637):887-895. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2007.1442>

41. Haydon D. T., Chase-Topping M., Shaw D. J., Matthews L., Friar J. K., Wilesmith J., Woolhouse M. E. The construction and analysis of epidemic trees with reference to the 2001 UK foot-and-mouth outbreak. *Proceedings of the Royal Society B*. 2003;270(1511):121-127. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2191>
42. Yang Q., Gruenbacher D. M., Brase G. L., Heier Stamm J. L., DeLoach S. A., Scoglio C. M. Simulating human behavioral changes in livestock production systems during an epidemic: The case of the US beef cattle industry. *PLoS ONE*. 2021;16(6):e0253498. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0253498>
43. Mcfadden A., Rawdon T. G., Poulin A., Abila R., Dacre I., Sutar A., Zaari S., Win T. T., Khounsy S., Muellner P. Biosecurity in endemic foot and mouth disease settings: a case study of foot and mouth disease vaccination in South-East Asia. *Revue Scientifique et Technique*. 2019;38(3):681-694. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.38.3.3017>
44. Cox S., Barnett P. Experimental evaluation of foot-and-mouth disease vaccines for emergency use in ruminants and pigs: a review. *Veterinary Research*. 2009;40(3):13. DOI: <https://doi.org/10.1051/vetres:2008051>
45. Doel T. Natural and vaccine induced immunity to FMD. *Current Topics in Microbiology and Immunology*. 2005;288:103-131. DOI: https://doi.org/10.1007/3-540-27109-0_5
46. Knight-Jones T. J. D., Edmond K., Gubbins S., Paton D. J. Veterinary and human vaccine evaluation methods. *Proceedings of the Royal Society B*. 2014;281(1784):20132839. DOI: <https://doi.org/10.1098/rspb.2013.2839>
47. Gunasekera U., Biswal J. K., Machado G., Ranjan R., Subramaniam S., Rout M., Mohapatra J. K., Pattnaik B., Singh R. P., Arzt J., Perez A., VanderWaal K. Impact of mass vaccination on the spatiotemporal dynamics of FMD outbreaks in India, 2008-2016. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022;69(5):e1936-e1950. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.14528>
48. Bouziri A., Sebai A., Kebir A., Khames M., Hamdi T. M., Khelef D. Fièvre aphteuse chez les bovins et les petits ruminants en Algérie. Enquête séroépidémiologique dans la région de l'ouest. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*. 2021;74(4):225-230. DOI: <https://doi.org/10.19182/remvt.36815>
49. Win T. T. Z., Campbell A., Soares Magalhaes R. J., Oo K. N., Henning J. What drives small-scale farmers to vaccinate their multiple livestock species animals against common infectious diseases in Myanmar? *PLoS ONE*. 2021;16(10):e0258765. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0258765>
50. Han J. H., Subharat S., Wada M., Vink D., Phiri B. J., Sutar A., Abila R., Khounsy S., Heuer C. Impact of risk-based partial vaccination on clinical incidence and seroprevalence of foot and mouth disease in Lao PDR. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2022;69(4):e309-e321. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.14299>
51. Park M. Y., Han Y. J., Choi E. J., Kim H. Y., Pervin R., Shin W., Kwon D., Kim J. M., Pyo H. M. Post-vaccination Monitoring to Assess Foot-and-Mouth Disease Immunity at Population Level in Korea. *Frontiers in Veterinary Science*. 2021;8:673820. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2021.673820>
52. Barnett P., Geale D., Clarke G., Davis J., Kasari T. A review of OIE country status recovery using vaccination-to-live versus vaccination-to-die Foot-and-Mouth Disease response policies I: Benefits of higher potency vaccines and associated NSP DIVA test systems in post-outbreak surveillance. *Transboundary and emerging diseases*, 2013;62(4):367-387. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12166>

Сведения об авторах

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

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

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

Хайбрахманова Светлана Шагитовна, кандидат вет. наук, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: nnovgorod@ficvim.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5239-8036>

Жучкова Ольга Владимировна, исследователь, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: nnovgorod@ficvim.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-5688-9571>

Гребнев Никита Андреевич, исследователь, Нижегородский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Ветеринарная, д. 3, г. Нижний Новгород, Российская Федерация, e-mail: nnovgorod@ficvim.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1305-5822>

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

Information about the authors

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

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

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

Svetlana Sh. Khaibrakhmanova, PhD in Veterinary, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: nnovgorod@ficvim.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5239-8036>

Olga V. Zhuchkova, researcher, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: nnovgorod@ficvim.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-5688-9571>

Nikita A. Grebnev, researcher, Federal Research Center for Virology and Microbiology, Branch in Nizhny Novgorod, Veterinarnaya st., 3, Nizhny Novgorod, Russian Federation, e-mail: nnovgorod@ficvim.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-1305-5822>

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

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.359-366>

УДК 633.491

Сортовая реакция растений картофеля при выращивании на аэропонных установках

© 2023. Л. Г. Цёма , А. Л. Латыпова

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

В статье представлены данные по изучению продуктивности раннеспелых (Легенда, Россия; Ред Скарлет, Нидерланды) и среднеранних (Ирбитский, Россия; Гала, Германия) сортов картофеля при выращивании в условиях искусственного освещения на аэропонных установках: трехъярусной адаптационной производства НПФ «Синтол» и одноярусных – МИП «Биологические системы». Растения картофеля отличались активным ростом и развитием. Их высота по сортам составила от 71,0 до 94,2 см, количество листьев, сформированных на одном растении – от 23 до 31 штук. Формирование мини клубней отмечено на 46 сутки (сорт Легенда) – 53 сутки (сорт Ирбитский). Первый сбор проводили на 65 сутки у ранних сортов и 67 сутки у среднеранних от высадки микро растений на адаптационную установку. Продуктивность сортов картофеля с одного растения составила: от 123,0 г (Легенда) до 216,1 г (Гала); выход мини клубней – от 68,1 (Ирбитский) до 105,2 штук (Легенда), масса одного мини клубня – от 1,17 (Легенда) до 2,73 г. (Ред Скарлет).

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., адаптационная установка, фракционный состав мини клубней, продуктивность, фенологические наблюдения

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № FGWW-2019-0158).

Авторы благодарят рецензентов за проведенную экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Цёма Л. Г., Латыпова А. Л. Сортовая реакция растений картофеля при выращивании на аэропонных установках. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):359-366. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.359-366>

Поступила: 22.03.2023

Принята к публикации: 25.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Varietal reaction of potato plants grown on aeroponic installations

© 2023. Lyubov' G. Tsema , Anna L. Latypova

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

The article presents data on study of the productivity of potato early ripening varieties (Legenda, Russia; Red Scarlet, Netherlands) and middle-early varieties (Irbitskiy Russia; Gala, Germany) grown on aeroponic installations in artificial lighting conditions: three-tier adaptive installation (“Syntol” production) and single-tier installation produced by “Biological systems” plant. Potato plants were characterized by active growth and development. Their height ranged from 71.0 to 94.2 cm among the varieties, the number of leaves formed on one plant – from 23 to 31 pieces. The formation of mini-tubers was noted from the 46th day (Legenda variety) to the 53rd day (Irbitskiy variety). The first harvest was obtained at the 65th day in early varieties and at the 67th day for middle-early varieties beginning from planting of micro-plants on to the adaptation installation. The productivity of plants by varieties ranged from 123.0 g (Legenda) to 216.1 (Gala) g of mini-tubers per plant, output of mini tubers from 68.1 (Irbitskiy) to 105.2 (Legenda) pieces per plant, the mass of one mini-tuber ranged from 1.17(Legenda) to 2.73 g (Red Scarlet).

Keywords: *Solanum tuberosum* L., adaptation installation, fractional composition of mini-tubers, productivity, phenological observations

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 Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences (theme No. FGWW-2019-0158).

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

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

For citation: Tsema L. G., Latypova A. L. Varietal reaction of potato plants grown on aeroponic installations. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24 (3):359-366. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.359-366>

Received: 22.03.2023

Accepted for publication: 25.05.2023

Published online: 28.06.2023

Картофель является пищевой, кормовой, технической культурой и третьей по значимости в мире после риса и пшеницы. Традиционно картофель размножается вегетативно, он весьма восприимчив к вирусным, бактериальным и грибным болезням. Посадочный материал накапливает в себе вирусы, что приводит к существенному снижению урожая [1, 2].

Начальным этапом производства высококачественного семенного картофеля является получение оздоровленного *in vitro* материала. При дальнейшем размножении, в оригинальном семеноводстве, широко используют технологии клонального размножения оздоровленных *in vitro* микрорастений с дальнейшим производством миниклубней в тепличных условиях [3].

Однако данный способ выращивания не даёт высокой продуктивности. Зарубежные [4] и российские исследователи [3, 5, 6] изучили эффективность получения миниклубней картофеля на аэропонной установке. По сравнению с традиционным методом коэффициент размножения и урожайность на аэропонной установке были выше в 7 раз.

В настоящее время на основе гидропонных и аэропонных установок работают многогектарные комплексы в Китае, Индии, Австралии, Финляндии, которые сделали ставку на продажу миниклубней [2]. Современные производители оригинальных семян картофеля в России проявляют все большую заинтересованность в использовании новых высокоэффективных способов производства [3].

При выращивании картофеля в защищенном помещении на аэропонных установках можно создать оптимальные условия для роста и развития растений. К ним относятся освещённость, влажность и температура окружающей среды, питательный раствор, сбалансированный по основным элементам питания и его подача. В зависимости от фазы роста и развития растений данные факторы можно регулировать, способствуя максимальной реализации биологического потенциала растений. Кроме того, выращивание растений без использования грунта позволяет поддерживать чистоту оздоровленных растений [7, 8, 9, 10].

Производство миниклубней на аэропонных установках и обеспечение заданной продуктивности во многом определяется сортом. В работах [11, 12] исследователями установлена значительная сортовая зависимость урожайности миниклубней картофеля при выращивании их на аэропонных установках.

Цель исследований – изучить морфологические особенности роста и развития растений сортов картофеля различных групп спелости, уровень их продуктивности при выращивании на аэропонных установках в искусственных условиях.

Новизна исследований. Впервые проведены исследования по выращиванию микро-растений картофеля сортов разных групп спелости на аэропонных установках с целью получения миниклубней.

Материал и методы. Исследования и наблюдения проводили в 2021 и 2022 гг. в лаборатории первичного семеноводства картофеля Пермского НИИСХ – филиала ФГБНУ Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук.

Объект исследования – оздоровленные микро-растения картофеля сортов ранней группы спелости: Легенда (Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Россия), Ред Скарлет (HZPC HOLLAND B.V., Нидерланды); среднеранней группы спелости: Ирбитский (Уральский НИИСХ – филиал ФГБНУ УрФАНИЦ УрО РАН, Россия), Гала (NORIKA GMBH, Германия).

Пробирочные растения первые десять дней для лучшей их адаптации выращивали на трехъярусной установке, остальной период – на одноярусных установках.

Трёхъярусная установка (адаптационная) производства НПФ «Синтол» оборудована люминесцентными лампами Osram L36W/77 (8 ламп на одном ярусе, световой поток 1400 Лм), баком для питательного раствора объемом 120 литров и насосом высокого давления. Каждый ярус – это лоток, выполненный из нержавеющей стали площадью 1,05 м² с отверстиями-лунками, расположенными по схеме 11x11 см. Одноярусная установка произведена в МИП «Биологические системы», состоит из двух секций с общей посадочной поверхностью 4×0,92 м, оборудована светодиодными светильниками ECOLED 100 L BIO IP 65 (световой поток 2950 Лм) в количестве четырёх штук на секцию, снабжена баком для питательного раствора объемом 75 литров и насосом высокого давления. Для предотвращения «разваливания» растений и фиксирования вертикального расположения растений на установках закреплена пластиковая сетка (ячейка 10*10 см) на высоте 20 см от посадочной поверхности (рис. 1).



а / а



б / б

**Рис. 1. Аэропонные установки: а – трёхъярусная адаптационная установка; б – одноярусная установка /
Fig. 1. Aeroponic installations: а – three-tier adaptive installation; б – single-tier installation**

Для лучшего изъятия микрорастений из пробирок за 12 часов до высадки их открывали и добавляли в них дистиллированную воду. После изъятия растений, корни хорошо отмывали от агаризованной питательной среды и высаживали на адаптационную установку. Высадку пробирочных растений проводили 18 января 2021 года, 25 января 2022 года. Температуру воздуха в лабораторной комнате в первую неделю в дневные часы поддерживали 21-23 °С, в ночное время – 18-19 °С, с постепенным понижением к периоду перестановки на одноярусную установку (день 18-19 °С, ночь 16-17 °С). Относительная влажность воздуха составляла 60-65 %. В питательном растворе поддерживали показатели рН – 5,8-6,0 и ЕС – от 1,3 (с момента посадки) и постепенным повышением до 1,6-1,8 мСм (до пересадки на одноярусную установку). Для приготовления питательных растворов использовали удобрения и рецепты, представленные ООО «Синтол». Для поддержания оптимальной концентрации питательного раствора и кислотности ежедневно проводили замеры данных показателей. Подача питательного раствора производилась через форсунки по 2 минуты, с интервалами 6 минут. Растения освещали по 16 часов в сутки.

Через 10 дней подращивания растения переносили на одноярусные аэропонные установки. Температуру воздуха в дневные часы поддерживали 17-19 °С, в ночное время – 15-16 °С. Относительная влажность воздуха составляла 60-65 %. Показатели питательного раствора: рН 5,6-6,2, Ес 1,8-2,8. Режим подачи

питательного раствора: после помещения растений в установочные отверстия – 2 минуты полив, перерыв 9 минут (2 через 9), при переплетении корней – 2 через 15, массовом клубнеобразовании – 2 через 25. Период досветки регулировали в зависимости от фазы развития растений: в начальный период роста светили по 16 часов в сутки, к моменту образования миниклубней – 9 часов в сутки.

Сбор миниклубней осуществляли одновременно у всех сортов, один раз в шесть-семь дней, в соответствии с ГОСТ 33996-2016. После сбора миниклубни обрабатывали в 3%-ном растворе H_2O_2 во избежание развития бактериальной инфекции, с последующим просушиванием в течение одних-двух суток. Просушенные миниклубни хранили в контейнерах при температуре 3-4 °С.

Размещение испытательных площадок – рендомизированное, повторность трехкратная. Площадь испытательной площадки – 0,5 м² (длина 1 м, ширина 0,5 м). Схема размещения растений на установке – 0,2*0,25 м, плотность – 10 растений на 1 м². Количество растений на одной испытательной площадке – 5, учетных – 5. Всего делянок – 12, общая площадь под опытом – 6 м².

В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения, морфометрические измерения (один раз в 10 дней, до фазы образования и роста миниклубней мерной лентой измеряли высоту стебля, длину корней, подсчитывали количество сформированных листьев), сбор и учет собранных

мини клубней в соответствии с ГОСТ¹. Статистическая обработка данных проведена с использованием дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову² с помощью программы Statistica 10 (Statsoft Inc, США).

Таблица 1 – Морфометрические показатели растений сортов картофеля перед пересадкой с адаптационной на одноярусную аэропонию установку (среднее за 2021-2022 гг.) / Table 1 – Morphometric parameters of potato before transplanting from the adaptive to the single-tier aeroponic installation (average for 2021-2022)

| Сорт / Variety | Высота растения, см / Plant height, cm | Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs. | Длина, см / Length, cm | |
|---------------------------|--|--|------------------------|--------------------------------|
| | | | междоузлия / Internode | корневой системы / root system |
| Легенда / Legenda | 7,4 | 8,8 | 0,9 | 33,1 |
| Ред Скарлет / Red Scarlet | 6,5 | 6,7 | 1,0 | 30,7 |
| Ирбитский / Irbitskiy | 5,8 | 7,5 | 0,8 | 22,3 |
| Гала / Gala | 8,7 | 9,3 | 1,1 | 35,3 |
| Среднее / Average | 7,1±1,2 | 8,1±1,1 | 0,9±1,1 | 30,3±5,6 |

Высота растений варьировала от 5,8 см (Ирбитский) до 8,7 см (Гала), количество сформированных листьев от 6,7 (Ред Скарлет) до 9,3 шт. (Гала). Растения сортов Легенда,

Результаты и их обсуждение. Для того чтобы оценить рост и развитие растений во время выращивания на адаптационной установке, проводили морфометрические измерения растений. Данные представлены в таблице 1.

Ирбитский имели более компактный габитус, благодаря небольшим междоузлиям – 0,82-0,89 см, по развитию корневой системы выделился сорт Гала – 35,3 см (рис. 2).

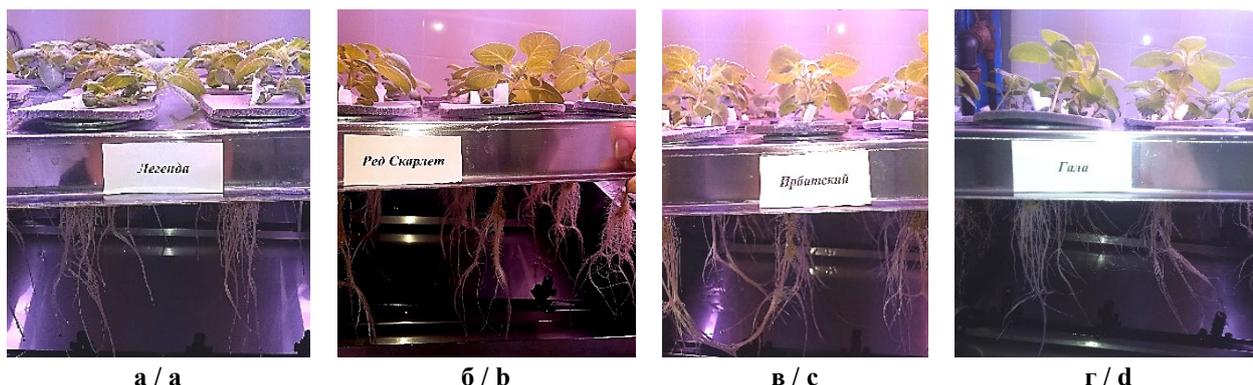


Рис. 2. Внешний вид растений сортов картофеля при прохождении периода адаптации: а – Легенда; б – Ред Скарлет; в – Ирбитский; г – Гала / Fig. 2. Appearance of different varieties of potatoes plants during the adaptation period: a – Legenda; b – Red Scarlet; c – Irbitskiy; d – Gala

Фенологические наблюдения, проведенные в период вегетации, показали, что растения в зависимости от сорта по-разному реагировали на искусственные условия выращивания (табл. 2).

Через 25 суток от посадки растений на одноярусную установку у всех изучаемых сортов наблюдали образование столонов. Фаза «массовая бутонизация» у сорта Ирбитский наступила на 31 сутки, у сортов Легенда и Гала на 17 суток позднее. Сорт Ред Скарлет в искусственных условиях выращивания не образовал бутонов. Дружное и интенсивное цветение

в оба года проведения исследований отмечено только у сорта Ирбитский (рис. 3). Сорт Гала достиг фазы «цветение» только в 2022 году, на 53 сутки, в 2021 году цветение не отмечено. Формирование мини клубней от времени посадки на адаптационную установку у сорта Легенда зафиксировано через 46 суток, Ред Скарлет – 48 суток, Гала – 52 сутки, Ирбитский – 53 сутки. У ранних сортов первый сбор мини клубней провели раньше на двое суток (на 65 сутки), чем у среднеранних. Период от первого до последнего сбора у ранних сортов продолжался 41 сутки, у среднеранних – 39 суток.

¹ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества.

М.: Стандартинформ, 2017. 35 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200143601?ysclid=li2qlvnlc5209255154>

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М, 1979. 416 с.

Таблица 2 – Периоды роста и развития растений сортов картофеля различных групп спелости (среднее за 2021-2022 гг.) /

Table 2 – Periods of growth and development of plants of potato varieties of different ripeness groups (average for 2021-2022)

| Сорт / Variety | Количество суток / Number of days | | | | | | | |
|------------------------------|--|-------------------------------------|-------------------------------------|--|---|---|---|--|
| | от посадки на адаптационную установку до / from planting to adaptive installation till | | | | | | от начала формирования клубней до последнего сбора / from the beginning of tubers formation to the last harvest | от первого до последнего сбора миниклубней / from the first to the last harvest of mini-tubers |
| | образования столонов / stolon formations | массовой бутонизации / mass budding | массового цветения / mass flowering | клубнеобразования / formation of mini-tubers | первого сбора миниклубней / the first collection of mini-tubers | последнего сбора миниклубней / last collection of mini-tubers | | |
| Раннеспелые / Early maturing | | | | | | | | |
| Легенда / Legenda | 25 | 48 | - | 46 | 65 | 106 | 56 | 41 |
| Ред Скалет / Red Scarlet | 25 | - | - | 48 | 65 | 106 | 54 | 41 |
| Среднеранние / Middle early | | | | | | | | |
| Ирбитский / Irbitskiy | 25 | 31 | 42 | 53 | 67 | 106 | 49 | 39 |
| Гала / Gala | 25 | 48 | 53* | 52 | 67 | 106 | 50 | 39 |

* 2022 год / 2022



а / a



б / b

Рис. 3. Прохождение фенологических этапов развития у растений картофеля: а – цветение сорта Ирбитский; б – начало клубнеобразования у сорта Легенда /

Fig. 3. The passing through phenological stages by potato plants: а – flowering of the Irbitskiy variety; б – the beginning of tuber formation by Legenda variety

Морфометрические показатели растений сортов картофеля разных групп спелости в конце периода выращивания даны в таблице 3.

Сорт Легенда при наименьшей высоте (71 см) сформировал наибольшее количество листьев – 30,8 шт., длина междоузлия составила 2,3 см, у сорта Ред Скалет отмечена противоположная тенденция – при большей высоте (89,5 см) он сформировал меньшее количество листьев – 22,8 шт., длина междоузлия составила 3,9 см. Длина корневой системы в конце периода выращивания по сортам изменялась

от 95,1 (Ирбитский) до 101,6 см (Гала). Растения сорта Гала отличались мощным ростом и более развитой корневой системой.

Продуктивность растений по сортам показана в таблице 4. У сорта Гала с одного растения собрано 216,1 г миниклубней при средней массе 2,18 г и количестве 99,2 шт. У растений раннего сорта Легенда продуктивность одного растения составила 123,0 г, при наибольшем количестве миниклубней (105,2 шт.) за счет их малого веса – 1,17 г. Самые крупные миниклубни сформировались у сорта Ред Скалет – 2,73 г.

Таблица 3 – Морфометрические показатели растений картофеля в конце периода выращивания (перед удалением культуры) (среднее за 2021-2022 гг.) /

Table 3 – Morphometric parameters of potato plants at the end of the growing period (before the removal of the crop) (average for 2021-2022 гг.) /

| Сорт / Variety | Высота растения, см / Plant height, cm | Количество листьев, шт. / Number of leaves, pcs. | Длина, см / Length, cm | |
|---------------------------|--|--|------------------------|--------------------------------|
| | | | междоузлия / Internode | корневой системы / root system |
| Легенда / Legenda | 71,0 | 30,8 | 2,3 | 98,1 |
| Ред Скарлет / Red Scarlet | 89,5 | 22,8 | 3,9 | 98,0 |
| Ирбитский / Irbitskiy | 77,2 | 26,1 | 3,0 | 95,1 |
| Гала / Gala | 94,2 | 26,6 | 3,5 | 101,6 |
| Среднее / Average | 82,9±10,7 | 26,5±3,2 | 3,1±0,6 | 98,2±2,6 |

Таблица 4 – Продуктивность растений картофеля, выращенных на аэропонных установках (2021-2022 гг.) /

Table 4 – Productivity of potato plants grown on aeroponic installations (2021-2022)

| Сорт / Variety | Количество миниклубней с 1 растения, шт. / Number of mini-tubers per 1 plant, pcs. | | | Средняя масса одного клубня, г / Average mass of one tuber, g | | | Продуктивность одного растения, г / Productivity of one plant, g | | |
|---------------------------------------|--|---------|-------------------|---|---------|-------------------|--|---------|-------------------|
| | 2021 г. | 2022 г. | среднее / average | 2021 г. | 2022 г. | среднее / average | 2021 г. | 2022 г. | среднее / average |
| Легенда / Legenda | 108,5 | 101,8 | 105,2 | 0,88 | 1,46 | 1,17 | 95,5 | 148,8 | 123,0 |
| Ред Скарлет / Red Scarlet | 88,6 | 50,0 | 69,3 | 1,87 | 3,59 | 2,73 | 165,7 | 179,5 | 189,2 |
| Ирбитский / Irbitskiy | 78,3 | 57,9 | 68,1 | 1,76 | 3,63 | 2,70 | 137,8 | 210,4 | 183,5 |
| Гала / Gala | 125,1 | 73,2 | 99,2 | 1,32 | 3,04 | 2,18 | 165,1 | 222,2 | 216,1 |
| Среднее / Average | 100,1 | 70,7 | 85,4 | 1,4 | 2,9 | 2,1 | 141,0 | 190,2 | 177,9 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | - | - | 18,36 | - | - | 0,43 | - | - | 24,10 |

В соответствии с ГОСТ 33996-2016 к дальнейшему использованию в производстве допускаются миниклубни диаметром от 9 до 60 мм. На практике использование мелкой фракции (менее 9 мм) при выращивании в тоннельных укрытиях вызывает немало проблем из-за сильной изреженности всходов, большого количества выпадов, отставании в росте, развитии и низкой продуктивности. Однако они

могут быть повторно высажены в защищенном грунте, где их продуктивность может быть не менее чем у микроклубней, полученных с применением искусственных питательных сред в пробирочной культуре [13]. Поэтому собранные миниклубни сортировались по диаметру на фракции: менее 9 мм (нестандарт), 10-20 мм, 20-30 мм, 30-50 мм (табл. 5).

Таблица 5 – Фракционный состав (%) собранных миниклубней по сортам картофеля (2021-2022 гг.) /

Table 5 – Fractional composition (%) of harvested mini-tubers by potato varieties (2021-2022)

| Сорт / Variety | < 9 мм (нестандарт) / (non-standard) | 9-20 мм | 20-30 мм | 30-50 мм | 9-60 мм (стандарт) / (standard) |
|---------------------------|--------------------------------------|---------|----------|----------|---------------------------------|
| Легенда / Legenda | 20,9 | 78,7 | 0,5 | 0 | 79,2 |
| Ред Скарлет / Red Scarlet | 13,6 | 54,3 | 30,2 | 1,9 | 86,4 |
| Ирбитский / Irbitskiy | 13,9 | 63,7 | 22,2 | 0,4 | 86,3 |
| Гала / Gala | 24,3 | 56,1 | 18,8 | 0,9 | 75,8 |

В структуре урожайности содержание фракции миниклубней менее 9 мм больше всего отмечено у сортов Гала (24,3 %) и Легенда (20,9 %), у сортов Ирбитский и Ред Скарлет

нестандартных миниклубней получено меньше – 13,9 и 13,6 % соответственно. Большая часть всех собранных миниклубней у изученных сортов имела диаметр от 9 до 20 мм.

Заключение. Для получения оздоровленного посадочного материала картофеля на аэропонных установках можно выращивать все изученные в наших исследованиях сорта. У сортов как ранней, так и средней групп спелости сформировались развитые растения, с хорошо сформированным листовым аппаратом и мощной корневой системой. Высота растений составила от 71,0 (Легенда) до 94,2 см (Гала), количество листьев – от 22,8 (Ред Скарлет) до 30,8 штук (Легенда), длина корневой системы – от 95,1 (Ирбитский) до 101,6 см (Гала). Форма и окраска клубней соответствовали сортовым особенностям. По продуктивности выделился

сорт Гала – 216,3 г миниклубней с одного растения, но при высокой доле нестандарта. Бóльшее количество миниклубней на растении – 105,2 шт. сформировал ранний сорт Легенда со средней массой одного клубня всего 1,17 г, у Ред Скарлет получены более крупные миниклубни – 2,73 г при общем количестве на растении – 69,3 шт.

Для повышения продуктивности растений и получения миниклубней более крупных размеров необходимо проводить дальнейшие исследования по разработке отдельных элементов технологии, подбору оптимальных уровней питательных растворов и оптимизации освещения.

Список литературы

1. Анисимов Б. В., Зебрин С. Н., Зейрук В. Н. Сухие и мокрые гнили клубней и их контроль в семеноводстве картофеля. Защита и карантин растений. 2017;(5):30-35. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29239977> EDN: YPWIAZ
2. Нурединов Я. А., Ярова Э. Т., Мальчихина О. Г., Тоболова Г. В., Колошина К. А. Продуктивность меристемного картофеля в искусственных средах аэропонных и гидропонных установок. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2019;(6 (80)):102-106. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41675268> EDN: KCSUXH
3. Хутинаев О. С., Старовойтов В. И., Старовойтова О. А., Манохина А. А., Шабанов Н. Э., Колесова О. С. Выращивание миниклубней картофеля и топинамбура в условиях водно-воздушной культуры с использованием искусственного освещения. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В. П. Горячкина». 2018;(4(86)):7-14. DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14> EDN: XYBNNB
4. Tunio M. H., Sher A., Lakhari I. A., Gao J. Potato production in aeroponics: a new system for growing food in sustainable agriculture to ensure food security. Chilean Journal of Agricultural Research. 2020;80(1):118-132. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000100118>
5. Колошина К. А., Полухин Н. И., Мызгина Г. Х. Реакция сортов картофеля на условия аэропонных технологий при выращивании мини-клубней. Достижения науки и техники АПК. 2020;(1(34)):26-30. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10105> EDN: NEJVJ
6. Мурашленко А. В., Моляво А. А., Рыбко В. В., Еренкова Л. А., Борисова Н. П., Абросимов Д. В. Ускоренное размножение оздоровленного картофеля с применением аэропонной технологии. Картофелеводство: мат-лы науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля». М.: ФГБНУ ВНИИКХ, 2018. С. 202-208. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35205805&pf=1> EDN: UTHLDY
7. Марзоев З. А., Карданова И. С., Хутинаев О. С., Зебрин С. Н., Грачева И. А., Анисимов Б. В. Инновационные технологии выращивания мини-клубней в безвирусном семеноводстве картофеля (Аналитический обзор). Евразийское научное объединение. 2020;(8-6 (66)):386-394. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43951012> EDN: WYTZXH
8. Саакян А. Д., Барсегян А. А., Мелян Г. Г., Мартиросян Ю. Ц. Сравнительная оценка урожая миниклубней картофеля, полученных из in vitro-растений в теплице и в аэропонике. Субтропическое и декоративное садоводство. 2018;(66):179-184. DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2018-66-179-184> EDN: YLGOMX
9. Янчевская Т. Г., Ольшаникова А. Л., Мурашко С. В., Ковалева О. А., Демид Т. А., Копылова Н. А. Получение безвирусной рассады картофеля по ионитопонной технологии в биотехнологических системах. Минск, 2004. 52 с.
10. Латыпова А. Л., Цёма Л. Г. Особенности сортовой реакции растений картофеля на выращивание в искусственных условиях на аэропонных установках. Вестник Ижевской государственной сельскохозяйственной академии. 2022;(3 (71)):12-20. DOI: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2022_3_12-19 EDN: OTACVZ
11. Mateus-Rodriguez J., de Haan S., Barker I., Chuquilanqui C., Rodriguez-Delfin A. Response of three potato cultivars grown in a novel aeroponics system for mini-tuber srrd production. Acta Horticulturae. 2012;947(947):361-367. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.46>
12. Tierno R., Carasco A., Ritter E., de Galarreta J. I. R. Differential Growth Response and Minituber Production of Three Potato Cultivars Under Aeroponics and Greenhouse Bed Culture. American Journal of Potato Research. 2014;91(4):346-353. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>
13. Марзоев З. А., Карданова И. С., Анисимов Б. В. Продуктивность различных по величине фракций мини-клубней в условиях высокогорной зоны Республики Северная Осетия-Алания. Картофелеводство: мат-лы науч.-практ. конф. «Современное состояние и перспективы развития селекции и семеноводства картофеля». М.: ФГБНУ ВНИИКХ, 2018. С. 160-169. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35205800&pf=1> EDN: OVPHYD

References

1. Anisimov B. V., Zebrin S. N., Zeiruk V. N. Dry and soft rot of tubers and their control in potato seed production. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2017;(5):30-35. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29239977>
2. Nureddinov Ya. A., Yarova E. T., Malchikhina O. G., Tobolova G. V., Koloshina K. A. Productivity of meristem potato in artificial medium of aeroponic and hydroponic installations. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2019;(6 (80)):102-106. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41675268>
3. Khutinaev O. S., Starovoytov V. I., Starovoytova O. A., Manokhina A. A., Shabanov N. E., Kolesova O. S. Growing minitubers of potato and Jerusalem artichoke in a water-air environment under artificial lighting. *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V. P. Goryachkina»*. 2018;(4(86)):7-14. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1728-7936-2018-4-7-14>
4. Tunio M. H., Sher A., Lakhari I. A., Gao J. Potato production in aeroponics: a new system for growing food in sustainable agriculture to ensure food security. *Chilean Journal of Agricultural Research*. 2020;80(1):118-132. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392020000100118>
5. Koloshina K. A., Polukhin N. I., Myzgina G. Kh. Reaction of potato varieties to the aeroponic technologies at mini-tubers growing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;(1(34)):26-30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10105>
6. Murakhlenko A. V., Molyavko A. A., Rybko V. V., Erenkova L. A., Borisova N. P., Abrosimov D. V. Accelerated propagation of sanitized potato by applying of aeroponic. Potato growing: Proceedings of scientific and practical. conf. "The current state and prospects for the development of breeding and seed production of potatoes". Moscow: FGBNU VNIKKh, 2018. C. 202-208. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35205805&pf=1>
7. Marzoev Z. A., Kardanova I. S., Khutinaev O. S., Zebrin S. N., Gracheva I. A., Anisimov B. V. Innovative technologies for growing mini-tubers in virus-free potato seed production (Analytical review). *Evrasiyskoe nauchnoe ob'edinenie*. 2020;(8-6 (66)):386-394. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43951012>
8. Saakyan A. D., Barsegyan A. A., Melyan G. G., Martirosyan Yu. Ts. Comparative assessment of potato minitubers yield produced from in vitro-plants in greenhouse and in aeroponics. *Subtropicheskoe i dekorativnoe sadovodstvo = Subtropical and ornamental horticulture*. 2018;(66):179-184. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31360/2225-3068-2018-66-179-184>
9. Yanchevskaya T. G., Olshanikova A. L., Murashko S. V., Kovaleva O. A., Demid T. A., Kopylova N. A. Obtaining virus-free potato seedlings using ionitopon technology in biotechnological systems. Minsk, 2004. 52 p.
10. Latypova A. L., Tsema L. G. Potato variety responses to cultivation in artificial conditions on aeroponic facilities. *Vestnik Izhevskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = The Bulletin of Izhevsk State Agricultural Academy*. 2022;(3 (71)):12-20. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.48012/1817-5457_2022_3_12-19
11. Mateus-Rodriguez J., de Haan S., Barker I., Chuquilanqui C., Rodriguez-Delfin A. Response of three potato cultivars grown in a novel aeroponics system for mini-tuber srrd production. *Acta Horticulturae*. 2012;947(947):361-367. DOI: <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2012.947.46>
12. Tierno R., Carasco A., Ritter E., de Galarreta J. I. R. Differential Growth Response and Minituber Production of Three Potato Cultivars Under Aeroponics and Greenhouse Bed Culture. *American Journal of Potato Research*. 2014;91(4):346-353. DOI: <https://doi.org/10.1007/s12230-013-9354-8>
13. Marzoev Z. A., Kardanova I. S., Anisimov B. V. Productivity of various by the value of fractions of mini-tubers under the conditions of the high-size zone of the Republic of North Ossetia-Alanya. Potato growing: Proceedings of scientific and practical. conf. "The current state and prospects for the development of breeding and seed production of potatoes". Moscow: FGBNU VNIKKh, 2018. C. 160-169. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35205800&pf=1>

Сведения об авторах

✉ **Цёма Любовь Геннадьевна**, 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 район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6288-3185>, e-mail: lyba_cema@mail.ru

Латыпова Анна Леонидовна, научный сотрудник, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9625-7465>

Information about the authors

✉ **Lybov' G. Tsema**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Agrotechnologies, Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru,
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6288-3185>, e-mail: lyba_cema@mail.ru

Anna L. Latypova, researcher, Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Kultury St., 12, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation, 614532. e-mail: pfperm@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-9625-7465>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Накопление и морфологические свойства крахмала в клубнях новых гибридов картофеля

© 2023. И. В. Лыскова ✉, Н. Ф. Синцова, Е. И. Кратюк
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н.В. Рудницкого», г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты изучения сортообразцов картофеля в питомнике динамического испытания 2022 г. в агроэкологических условиях Кировской области (Волго-Вятский регион) по накоплению и морфологическим свойствам крахмала в клубнях. Объекты исследования – 11 новых гибридов селекции Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого». В качестве стандартов использовали раннеспелый сорт Удача, среднеранний сорт Невский, среднеспелый сорт Чайка. Выделены гибриды с повышенным (19 % и выше) содержанием крахмала на 80-й день вегетации: раннеспелый 172-13, среднеранние – 165-00, 27-07, 13-18, среднеспелые – 182-13, 580-13, 252-18. Гибриды среднеранней группы имели наибольший средний размер крахмальных зерен: 165-00 (34,3±2,6 мкм), 132-18 (36,0±3,0 мкм), 233-12 (39,2±3,3 мкм). Большинство гибридов имели крахмальные зерна правильной округлой формы, сортообразцы 233-12 и 232-12 – преимущественно неправильной (угловатой) формы. В ходе исследований установлено, что хранение картофеля при температуре воздуха 3...4 °С привело к уменьшению фракции крахмальных зерен очень большого размера: у раннеспелых сортов с 9,2 до 2,7 %, среднеранних – с 13,5 до 5,0 %, среднеспелых – с 9,6 до 3,2 %, что связано с ресинтезом крахмала. В результате селекционной работы выделены перспективные гибриды картофеля различного срока созревания для передачи на государственное сортоиспытание с улучшенными хозяйственно ценными признаками, в том числе и высокой потенциальной продуктивностью: раннеспелый 172-13, среднеранний 233-12, среднеспелые 182-13 и 580-13.

Ключевые слова: *Solanum tuberosum* L., селекция, сортообразец, группа спелости, продуктивность, крахмал

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Лыскова И. В., Синцова Н. Ф., Кратюк Е. И. Накопление и морфологические свойства крахмала в клубнях новых гибридов картофеля. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):367-376.
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.367-376>

Поступила: 28.04.2023 Принята к публикации: 07.06.2023 Опубликовано онлайн: 28.06.2023

Accumulation and morphological properties of starch in tubers of new potato hybrids

© 2023. Irina V. Lyskova ✉, Nina F. Sintsova, Elena I. Kratyuk
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Kirov, Russian Federation

The article presents the results of studying potato accessions according to the accumulation and morphological properties of starch in tubers in the nursery of dynamic testing in agroecological conditions of the Kirov region (Volga-Vyatka region) in 2022. The objects of the research were 11 new hybrids bred by the Falenki Breeding Station – branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky. The early-maturing variety Udacha, the middle-early variety Nevsky, and the mid-season variety Chaika were used as standards. There have been identified hybrids with increased starch content (19 % and higher) on the 80th day of vegetation: early-maturing 172-13, medium-early – 165-00, 27-07, 13-18, mid-season – 182-13, 580-13, 252-18. The hybrids of the middle early group had the largest average size of starch grains: 165-00 (34.3±2.6 microns), 132-18 (36.0±3.0 microns), 233-12 (39.2±3.3 microns). Most of the hybrids had starch grains of regular rounded shape, accessions 233-12 and 232-12 – mostly irregular (angular) shape. In the course of the research, it was found that storing potatoes at the temperature of 3...4 °C led to a decrease in the fraction of starch grains of very large size: in early-maturing varieties from 9.2 to 2.7 %, in middle early – from 13.5 to 5.0 %, in mid-season – from 9.6 to 3.2 %, which was due to starch resynthesis. As a result of the breeding work, promising potato hybrids of various maturation periods have been identified for transfer to state variety testing with improved agronomic traits, including high potential productivity: early-maturing 172-13, middle-early 233-12, mid-season 182-13 and 580-13.

Keywords: *Solanum tuberosum* L., breeding, accession, maturity group, productivity, starch

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

The authors thank the reviewers for their comments to improve the manuscript for the publication.

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

For citations: Lyskova I. V., Sintsova N. F., Kratyuk E. I. Accumulation and morphological properties of starch in tubers of new potato hybrids. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):367-376. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.367-376>

Received: 28.04.2023 Accepted for publication: 07.06.2023 Published online: 28.06.2023

Крахмал является наиболее распространенным углеводом, хранящимся в растениях, и имеет значительное промышленное значение для пищевых и непищевых целей [1]. Природный крахмал и продукты его переработки используются в большинстве отраслей пищевой, текстильной, бумажной, кожевенной, полиграфической, фармацевтической промышленности, а также в быту [2, 3]. Крахмал – сложный углевод растительного происхождения, состоящий из двух видов полимерных молекул: амилозы и амилопектина [4]. С физико-биохимической точки зрения крахмал делится на два вида: ассимиляционный и запасной. Ассимиляционный крахмал образуется в зеленых хлоропластах листьев в процессе фотосинтеза. В клубнях из сахаров синтезируется запасной крахмал, который состоит из зерен со слоистым строением [5, 6].

Крахмальные зерна картофеля яйцевидной формы с правильными контурами и по своим размерам значительно крупнее зерен крахмала многих других растений. В клубнях встречаются крахмальные зерна размером от 1 до 100 мкм, но чаще всего 20-40 мкм. Содержание крахмала и размер крахмальных зерен являются важными характеристиками картофеля. Для переработки необходим крахмал крупнозернистый, так как он хорошо подвергается гидролитическому распаду. Величина зерен определяет также кулинарные качества картофеля – как столового назначения, так и готовых сушеных продуктов. В свежесобранных клубнях более 80 % всех углеводов приходится на долю крахмала. Сухое вещество клубня на 70 % состоит из крахмала [7, 8].

При использовании в пищевых и технических целях крахмал, как правило, подвергается термической обработке в присутствии воды [6]. Зерна крахмала при нагревании набухают, содержащие их клетки округляются, начинают легче отделяться одна от другой, в результате чего создается рассыпчатая консистенция, которая высоко ценится у картофеля. Чем мельче зерна крахмала, тем чаще наблюдается разрыв клеток, особенно, если они меньше 20 мкм. При слишком сильном набухании крахмальных зерен происходит разрыв

клеток, и такой картофель при варке дает полужидкую массу [9]. Содержание крахмала и сухого вещества определяют пищевую ценность картофеля, выход товарной продукции при производстве крахмала, спирта, а также качество продуктов переработки: сухого картофельного пюре, гранул, чипсов и др. Содержание крахмала определяет вкус, консистенцию и волокнистость клубней. Стабильно высокое содержание крахмала и соответствующее его качество является важной характеристикой сортов, предназначенных для переработки, причем сорта должны быть не только высококрахмалистыми, но и обладать высоким потенциальным сбором крахмала с единицы площади [10, 11]. Картофель, предназначенный для переработки, должен соответствовать ГОСТ 6014-68¹, согласно которому базисная массовая доля крахмала должна составлять 15 % (для Кировской области) [12]. Содержание крахмала в картофеле является сортовым признаком, зависящим от ряда факторов: агроэкологических и климатических условий выращивания, агротехники, степени зрелости клубней и условий их хранения. Температура воздуха и количество осадков являются главными метеорологическими факторами, влияющими на накопление крахмала в клубнях картофеля [7]. Существенное влияние на процесс крахмалонакопления оказывает влагообеспеченность растений. Изменение влажности почвы с 70-75 до 50-55 % от ППВ в разные периоды вегетации, особенно в фазу «бутонизация-цветение», снижает содержание крахмала в клубнях от 2,4 до 5,2 %. Недостаток влаги в предуборочный период способствует увеличению крахмалистости за счет ускорения созревания клубней [13]. Повышенное содержание фосфора в почве позволяет получить клубни с более высоким содержанием сухого вещества, крахмала и белка, но более низким общим содержанием сахара [12, 14]. Наиболее интенсивно в динамике роста и развития культуры накопление крахмала происходит в начале вегетации, во время образования и начала роста клубней. У ранних и среднеранних сортов данный период отмечается с 70-го по 90-й день от посадки, у поздних – на 80-100-й день [15].

¹ГОСТ 6014-68. Картофель свежий для переработки. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 4 с.
URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200024862>

Цель исследований – оценить гибриды картофеля по накоплению и морфологическим свойствам крахмала в клубнях в динамике; выделить перспективные сортообразцы с повышенным содержанием крахмала при возделывании в условиях Кировской области.

Новизна исследований – получены новые данные по содержанию крахмала и его морфологическим свойствам в гибридах картофеля селекции Фалёнской селекционной станции.

Материал и методы. Исследования проведены в питомнике динамического сортоиспытания опытного поля селекционного севооборота Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2022 г. Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая, pH_{KCl} 5,0, содержание гумуса 2,45 % (по Тюрину), подвижного фосфора – 307 мг/кг и обменного калия – 265 мг/кг почвы (по Кирсанову). Предшественник – зерновые культуры. Агрофон: под культивацию внесена (вразброс 1-РМГ-4) нитроаммофоска ($N_6P_{20}K_{30}$) в дозе 3,0 ц/га.

Объекты исследований – 11 новых гибридов картофеля селекции Фалёнской селекционной станции. Сравнение вели со стандартными районированными сортами, утвержденными Госкомиссией по сортоиспытанию в Кировской области: раннеспелый Удача (Всероссийский НИИ картофельного хозяйства), среднеранний Невский (Северо-Западный НИИСХ), средне-спелый Чайка (ФАНЦ Северо-Востока).

В питомнике проводили три пробные копки: через 60, 70 и 80 дней после посадки по методике Всероссийского НИИ картофельного хозяйства². Содержание крахмала в клубнях определяли после каждой копки (дополнительно во время хранения через 3 месяца) удельно-весовым методом, размер крахмальных зерен – с помощью биологического микроскопа «Микромед 2» по Методике физиолого-биохимических исследований картофеля³.

Вегетационный период 2022 г. характеризовался неравномерным выпадением осадков, с пиком в начале вегетационного периода: 119 мм осадков (64 %) пришлось на период с середины мая до конца третьей декады июня. К посадке приступили позже среднесрочных сроков на две недели. Гидротермический коэффициент по Селянинову⁴ (ГТК) июня составил 1,49. Всходы появились 23-27 июня. Вторая половина вегетации – это полная противополо-

жность первой. С третьей декады июня дожди начали сокращаться, за исключением 14 июля, когда выпало 24,6 мм. В критический период завязывания и роста клубней (июль, август) выпало 42 % осадков от климатической нормы, на этот же период пришлось повышение температуры воздуха (на 2,0 °C в июле и на 4,8 °C в августе к климатической норме), ГТК июля составил 0,84, августа – 0,14, что соответствовало сильной засухе. В целом за вегетацию ГТК составил 0,76, при сумме температур воздуха выше 10 °C, равной 1796 °C. На такие неблагоприятные условия картофель отреагировал прекращением прироста клубней и низкой урожайностью.

Статистическая обработка экспериментальных данных выполнена с использованием пакета прикладных программ AGROS – версия 2.07. (приведено среднее значение и ошибка выборки S_x).

Результаты и их обсуждение. Проведенные исследования показали, что содержание крахмала у всех изученных сортообразцов было выше 15 % (табл. 1). В группе раннеспелых выделен сортообразец 172-13 с максимальным содержанием крахмала 20,5 % на 70-й день вегетации, что больше стандартного сорта Удача на 5 %, на 80-й день у сортообразца зафиксировано уменьшение содержания крахмала, что связано с увеличением прироста размера клубней в данный период. Сортообразец на высоком уровне сохранил показатель и во время хранения (20,3 %).

В группе среднеранних сортов выделены сортообразцы 27-07 и 132-18, у которых содержание крахмала увеличивалось на протяжении всей вегетации до 19 %, в период хранения – до 20,0-20,4 %. У номеров 165-00 и 13-18 максимальное накопление крахмала отмечено на 80-й день вегетации, что на 6 % выше стандартного сорта Невский.

В группе среднеспелых сортообразцов все четыре новые гибрида отличались от стандартного сорта Чайка высоким содержанием крахмала: превышение составило уже в первую копку на 60-й день вегетации от 2,0 % (182-13) до 8 % (580-13). Стабильно высокое содержание крахмала отмечено у номера 182-13 на 70-й и 80-й день вегетации (20,0-22,0 %) и в период хранения (до 21,2 %). На 80-й день вегетации наибольшим содержанием крахмала (более 20 %) выделены гибриды 580-13 и 252-18.

²Методика исследования по культуре картофеля. М., 1967. 264 с.

³Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. М.: ВНИИКХ, 1989. 142 с.

⁴Научно-прикладной справочник по климату СССР: в 6 ч. Серия 3. Многолетние данные. Ч. 1-6. Л., 1988. Вып. 12. 647 с.

Таблица 1 – Динамика содержания крахмала в клубнях картофеля по группам спелости в период вегетации и хранения, % (2022 г.) /

Table 1 – Dynamics of starch content (%) in potato tubers by maturity groups during the growing season and storage, % (2022)

| Сорт, номер гибрида / Variety, hybrid number | Содержание крахмала в клубнях картофеля / Dynamics of starch accumulation in potato tubers | | | |
|---|---|---|---|------------------------------|
| | 60-й день / the 60 th day | 70-й день / the 70 th day | 80-й день / the 80 th day | при хранении / in storage |
| Раннеспелые / Early maturing | | | | |
| Удача, ст. / Udacha, st. | 15,5 | 15,5 | 15,5 | 14,2 |
| 172-13 | 17,5 | 20,5 | 19,0 | 20,3 |
| 92-16 | 15,0 | 13,5 | 15,5 | 15,0 |
| Среднее / Average | 16,0 | 16,5 | 16,7 | 16,5 |
| Среднеранние / Middle early | | | | |
| Невский, ст. / Nevsky, st. | 15,5 | 19,0 | 14,5 | 15,0 |
| 165-00 | 17,5 | 16,5 | 21,0 | 17,0 |
| 27-07 | 17,0 | 19,0 | 19,0 | 20,4 |
| 233-12 | 16,0 | 16,5 | 18,0 | 17,9 |
| 13-18 | 15,5 | 18,5 | 21,5 | 15,9 |
| 132-18 | 17,0 | 18,5 | 18,5 | 20,0 |
| Среднее / Average | 16,4 | 18,0 | 18,8 | 17,7 |
| Среднеспелые / Mid-season | | | | |
| Чайка, ст. / Chayka, st. | 13,0 | 14,5 | 15,5 | 15,5 |
| 232-12 | 16,0 | 17,5 | 18,5 | 18,9 |
| 182-13 | 15,0 | 22,0 | 20,0 | 21,2 |
| 580-13 | 21,0 | 19,5 | 21,0 | 19,0 |
| 252-18 | 19,0 | 19,0 | 20,5 | 16,9 |
| Среднее / Average | 16,4 | 18,0 | 18,8 | 17,7 |
| Среднее по опыту / Average by experience | 16,4 | 17,7 | 18,2 | 17,5 |

Исследованиями Л. Козловой с соавт. установлено, что размеры крахмальных зерен и их процентное распределение в зрелых клубнях является сортовым признаком [7]. Распределение крахмальных зерен по размеру в клубнях изученных сортообразцов картофеля разных групп спелости представлены на рисунке в динамике. Раннеспелые сорта к 60-му дню после посадки сформировали преимущественно мелкую фракцию крахмальных зерен (67,1 %), доля фракций больших и очень больших размеров составила соответственно 10,7 и 1,8 %. У среднеспелых сортов 56,7 % всей осмотренной выборки составляли малые зерна, 23,7 % – средние, 12,0 % – большие,

7,6 % – очень большие. Через 20 дней распределение крахмальных зерен по размеру у среднеспелых сортообразцов, как и следовало ожидать, сместилось в сторону более крупной фракции, доля фракции зерен среднего размера осталась на прежнем уровне.

К окончанию вегетации на 80-й день сортообразцы раннеспелой группы имели средний размер крахмальных гранул $26,6 \pm 2,0$ мкм (табл. 2). Новые гибриды не превысили стандартный сорт Удача по среднему размеру крахмальных зерен, так как более 60 % из них были мелкими – до 25,0 мкм. Можно отметить гибрид 172-13, у которого 12,4 % крахмальных зерен имели размер более 60,0 мкм, что выше стандарта на 3,6 %.

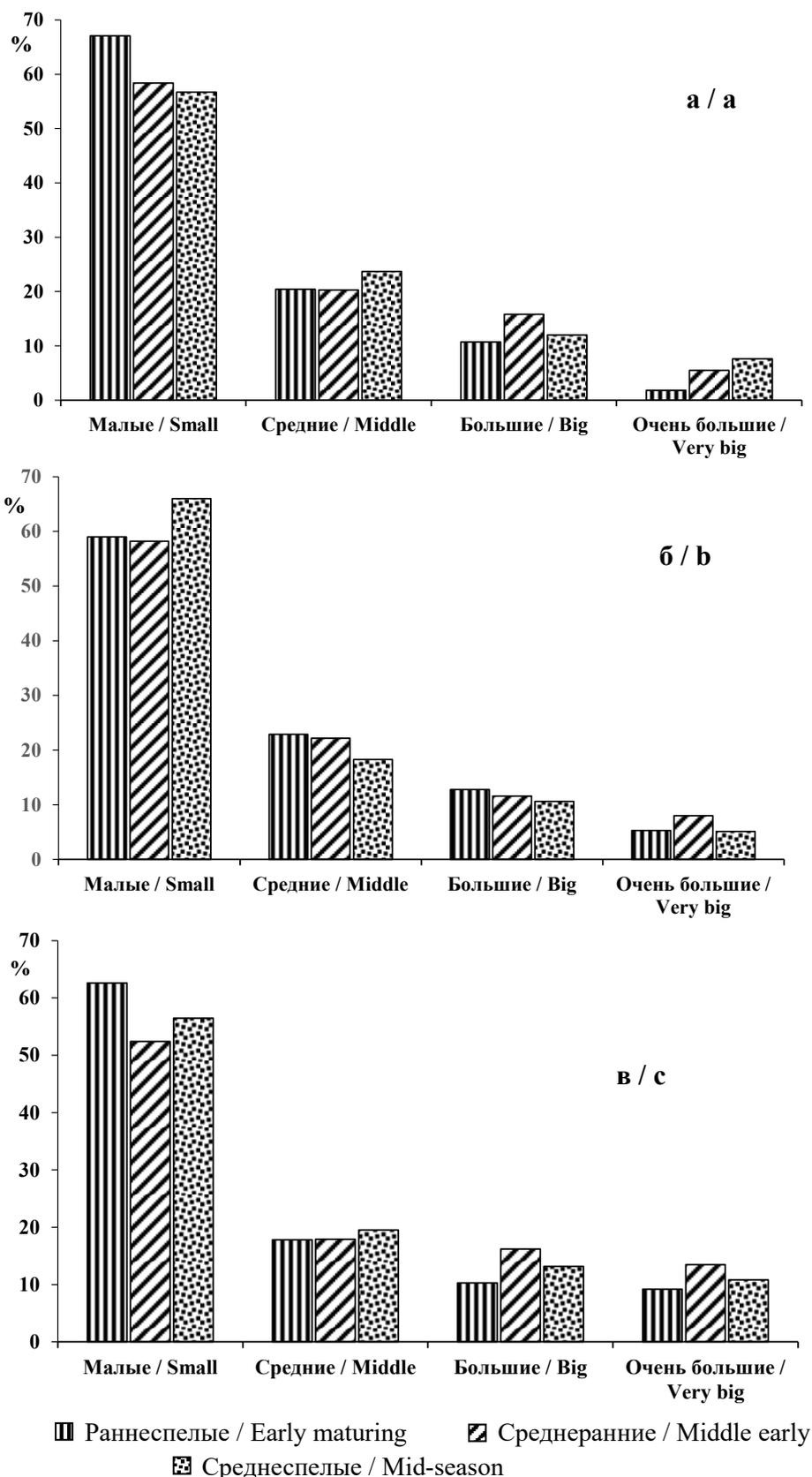


Рис. Распределение крахмальных зёрен по размеру в клубнях сортов и гибридов картофеля разных групп спелости в период вегетации, %: а) на 60-й день; б) на 70-й день; в) на 80-й день /

Fig. Distribution of starch grains by size in tubers of potato varieties and hybrids of different groups of ripeness during the growing season, %: a) on the 60th day of vegetation; b) on the 70th day of vegetation; c) on the 80th day of vegetation

Таблица 2 – Морфологическая характеристика крахмала, выделенного из разных сортообразцов картофеля на 80-й день вегетации (2022 г.) /

Table 2 – Morphological characteristics of starch isolated from different potato varieties on the 80th day of vegetation (2022)

| Сорт, номер гибрида / Variety, hybrid number | Распределение крахмальных гранул по размеру, % / Distribution of starch granules by size, % | | | | Размер крахмальных гранул, мкм / Size of starch granules, microns | |
|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|--|
| | малые / small | средние / medium | большие / large | очень большие / very large | min...max | среднее ±S _x / average±S _x |
| | до 25,0 мкм / up to 25.0 microns | 25,0-39,9 мкм / 25.0-39.9 microns | 40,0-59,9 мкм / 40.0-59.9 microns | более 60,0 мкм / larger than 60.0 microns | | |
| Раннеспелые / Early maturing | | | | | | |
| Удача, ст. / Udacha, st. | 55,9 | 22,5 | 12,8 | 8,8 | 4,7...77,4 | 28,6±2,0 |
| 172-13 | 64,0 | 13,4 | 10,2 | 12,4 | 3,3...80,9 | 27,4±2,5 |
| 92-16 | 68,0 | 17,6 | 8,0 | 6,4 | 6,3...71,2 | 23,8±1,4 |
| Среднее / Average | 62,6 | 17,8 | 10,3 | 9,2 | 4,8...76,5 | 26,6±2,0 |
| Среднеранние / Middle early | | | | | | |
| Невский, ст. / Nevsky, st. | 58,1 | 24,2 | 13,3 | 4,4 | 4,9...74,5 | 26,4±1,4 |
| 165-00 | 47,0 | 20,4 | 16,8 | 15,8 | 9,1...86,8 | 34,3±2,6 |
| 27-07 | 63,0 | 13,4 | 15,2 | 8,4 | 4,5...78,1 | 26,6±1,8 |
| 233-12 | 46,0 | 13,8 | 16,4 | 23,8 | 5,0...113,7 | 39,2±3,3 |
| 13-18 | 51,8 | 25,9 | 15,2 | 7,1 | 6,6...73,2 | 28,2±1,9 |
| 132-18 | 48,3 | 9,6 | 20,4 | 21,7 | 6,7...98,7 | 36,0±3,0 |
| Среднее / Average | 52,4 | 17,9 | 16,2 | 13,5 | 6,1...87,5 | 31,8±2,3 |
| Среднеспелые / Mid-season | | | | | | |
| Чайка, ст. / Чайка, st. | 46,8 | 34,9 | 16,5 | 1,8 | 4,8...66,9 | 27,3±1,3 |
| 232-12 | 42,0 | 22,3 | 14,7 | 21,0 | 5,5...115,5 | 39,3±3,1 |
| 182-13 | 66,0 | 9,7 | 15,5 | 8,8 | 4,3...84,3 | 26,2±2,0 |
| 580-13 | 58,6 | 28,1 | 7,0 | 6,3 | 3,4...103,4 | 25,3±1,8 |
| 252-18 | 58,8 | 19,7 | 11,2 | 10,3 | 3,6...78,0 | 25,4±2,0 |
| Среднее / Average | 54,0 | 22,9 | 13,1 | 9,6 | 4,3...89,6 | 28,7±2,0 |
| Среднее по опыту / Average by experience | 56,5 | 19,5 | 13,2 | 10,8 | 5,1...84,5 | 29,0±2,1 |

Сортообразцы среднеранней группы к окончанию вегетации характеризовались наибольшим средним размером крахмальных гранул – 31,8± 2,3 мкм. В данной группе все гибриды по доле крахмальных гранул размером более 60,0 мкм превысили стандартный сорт Невский, выделились образцы 165-00 – 15,8 %, 233-12 – 23,8 % и 132-18 – 21,7 %.

Сортообразцы среднеспелой группы по размеру крахмальных зерен занимали промежуточное положение между раннеспелой и среднеранней группами. В данной группе относительно стандарта Чайка выделен гибрид 232-12 с наибольшим средним размером крахмальных зерен 39,3±3,1 мкм и наименьшим содержанием (42,0 %) мелких крахмальных зерен среди всех изученных сортообразцов.

Отмечено, что на 60-й день вегетации у сортов и гибридов сформировались крахмальные зерна правильной овальной формы, у сортообразцов 233-12 и 232-12 – преимущественно неправильной (угловатой). Во вторую копку угловатые крахмальные зерна имели сортообразцы 165-00 и 252-18. На 80-й день вегетации неправильной формой крахмальных зерен выделились гибриды 165-00, 132-18, 182-13, 580-13.

В ходе исследований было установлено, что хранение картофеля при температуре воздуха 3...4 °С уменьшилась фракция крахмальных зерен очень большого размера у раннеспелых с 9,2 до 2,7 %, у среднеранних – с 13,5 до 5,0 % и у среднеспелых – с 9,6 до 3,2 % (табл. 2, 3), что связано с ресинтезом крахмала. Происходит увеличение фракции мелких зерен, что подтверждается и другими авторами [16].

Таблица 3 – Морфологическая характеристика крахмала, выделенного из разных сортообразцов картофеля в период хранения (2022 г.) /

Table 3 – Morphological characteristics of starch isolated from different potato varieties during storage (2022)

| Сорт, номер гибрида / Variety, hybrid number | Распределение крахмальных гранул по размеру, % / Distribution of starch granules by size, % | | | | Размер крахмальных гранул, мкм / Size of starch granules, microns | |
|--|---|-----------------------------------|-----------------------------------|---|---|---|
| | малые / small | средние / medium | большие / large | очень большие / very large | min...max | среднее ±S _x / average ±S _x |
| | до 25,0 мкм / up to 25.0 microns | 25,0-39,9 мкм / 25.0-39.9 microns | 40,0-59,9 мкм / 40.0-59.9 microns | более 60,0 мкм / larger than 60.0 microns | | |
| Раннеспелые / Early maturing | | | | | | |
| Удача, ст. / Udacha, st. | 51,1 | 22,7 | 23,9 | 2,3 | 4,9...68,5 | 26,5±1,6 |
| 172-13 | 65,7 | 20,7 | 9,3 | 4,3 | 5,1...87,7 | 23,1±1,1 |
| 92-16 | 84,4 | 9,2 | 4,9 | 1,4 | 2,52...90,7 | 16,1±0,9 |
| Среднее / Average | 67,1 | 17,5 | 12,7 | 2,7 | 4,2...82,3 | 21,9±1,2 |
| Среднеранние / Middle early | | | | | | |
| Невский, ст. / Nevsky, st. | 53,2 | 29,7 | 11,7 | 5,4 | 6,0...72,5 | 26,4±1,5 |
| 165-00 | 73,4 | 10,2 | 9,1 | 7,3 | 6,2...77,4 | 21,6±1,6 |
| 27-07 | 70,0 | 21,2 | 5,5 | 3,3 | 3,7...55,4 | 19,9±1,3 |
| 233-12 | 62,0 | 19,0 | 9,0 | 10,0 | 4,4...89,7 | 26,8±2,6 |
| 13-18 | 75,0 | 17,0 | 4,5 | 3,5 | 3,9...72,7 | 18,2±1,2 |
| 132-18 | 71,1 | 17,8 | 10,0 | 1,1 | 4,4...61,8 | 19,7±1,4 |
| Среднее / Average | 67,5 | 19,2 | 8,3 | 5,0 | 4,8...73,6 | 22,1±1,5 |
| Среднеспелые / Mid-season | | | | | | |
| Чайка, ст. / Чайка, st. | 65,0 | 25,4 | 8,5 | 1,1 | 6,2...64,4 | 21,5±0,8 |
| 232-12 | 56,8 | 28,4 | 11,4 | 3,4 | 3,5...67,4 | 24,5±1,6 |
| 182-13 | 78,8 | 13,5 | 5,2 | 2,5 | 3,0...72,4 | 15,4±1,1 |
| 580-13 | 74,4 | 15,6 | 4,4 | 5,6 | 4,9...95,2 | 18,0±1,2 |
| 252-18 | 73,5 | 15,6 | 7,3 | 3,6 | 3,5...74,8 | 19,8±1,4 |
| Среднее / Average | 69,7 | 19,7 | 7,4 | 3,2 | 4,2...74,8 | 19,8±1,2 |
| Среднее по опыту / Average by experience | 68,1 | 18,8 | 9,5 | 3,6 | 4,4...76,9 | 21,3±1,3 |

В результате селекционной работы на Фалёнской селекционной станции (филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) изучены новые гибриды картофеля по основным хозяйственно ценным признакам, в т. ч. по содержанию крахмала и морфологическим свойствам крахмальных зерен в клубнях, выделены наиболее перспективные, описание которых приводится ниже.

Ранний 172-13. Средний вес товарных клубней – 87...130 г. Количество товарных клубней в гнезде 9...11 штук, выравненные и высокой товарности. Клубни округлые, розовые, глазки мелкие, неокрашенные. Мякоть бледно-желтая, вареная мякоть рассыпчатая. Урожайность 26,5...39,9 т/га. Содержание крахмала 13,6...15,5 %. Вкус очень хороший (4,4...5,0 баллов). Лежкость хорошая. Устойчив к раку, золотистой картофельной нематоде, устойчив к фитофторозу по листьям – средняя, по клубням – выше средней. Среднеустойчив к парше обыкновенной. Устойчив к тяжелым формам вирусных болезней.

Среднеранний 233-12. Средний вес товарных клубней 80...120 г. Количество товарных клубней в гнезде 9...13 штук. Клубни округлые, белые, мякоть белая, слегка темнеющая при резке, вареная мякоть рассыпчатая. Урожайность 32,8...55,4 т/га. Содержание крахмала 12,0...15,7 %. Потребительские качества: вкус хороший (4,0...4,4 балла), лежкость хорошая. Устойчив к раку, золотистой картофельной нематоде, парше обыкновенной, устойчив к фитофторозу по листьям и клубням высокая.

Среднеспелый 182-13. Средний вес товарных клубней 77...110 г. В гнезде 10...13 штук выравненных клубней, хорошего товарного вида. Клубни округло-овальные, красные, глазки мелкие, неокрашенные. Мякоть желтая, вареная – плотная. Урожайность 22,3...44,8 т/га. Содержание крахмала 12,2...15,1 %. Вкус хороший и удовлетворительный (3,4...3,7 балла). Лежкость хорошая. Устойчив к раку, золотистой

картофельной нематоде, устойчивость к фитофторозу по листьям – средняя, по клубням – выше средней. Незначительное поражение клубней паршой обыкновенной.

Среднеспелый 580-13. Средний вес товарных клубней 90...112 г. Количество товарных клубней в гнезде 9...14 штук, очень выравнены. Клубни округло-овальные, белые с розовым румянцем, кожура гладкая, глазки мелкие, неокрашенные, мякоть белая, устойчивая к потемнению при резке, вареная мякоть плотная. Урожайность 25,4...40,1 т/га. Содержание крахмала 12,6...17,0 %. Вкус хороший и удовлетворительный (3,9 балла). Лежкость хорошая и средняя. Устойчив к раку, парше обыкновенной, к тяжелым вирусным болезням. Средняя устойчивость к фитофторозу по листьям и клубням. Особенности возделывания: предпочитает легкие почвы, хорошо выносит засушливые условия.

Заключение. Таким образом, по результатам исследований динамики накопления крахмала у новых гибридов картофеля селекции Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 2022 г. выделены гибриды различного срока созревания для почвенно-климатических условий Волго-Вятского региона: раннеспелые – 172-13, 92,16; среднеранние – 165-00, 27-07, 233-12, 13-18, 132-18; среднеспелые – 232-12, 182-13, 580-13, 252-18. Высокое (19 % и выше) содержание крахмала на 80-й день вегетации имели гибриды: раннеспелый 172-13, среднеранние – 165-00, 27-07, 13-18, среднеспелые – 182-13, 580-13, 252-18. Выделены гибриды среднеранней группы с наибольшим средним размером крахмальных зерен: 165-00 (34,3±2,6 мкм), 132-18 (36,0±3,0 мкм), 233-12 (39,2±3,3 мкм). У большинства гибридов крахмальные зерна имели правильную округлую форму. Для передачи на государственное сортоиспытание рекомендуются гибриды: раннеспелый 172-13, среднеранний 233-12, среднеспелые 182-13 и 580-13 с улучшенными хозяйственно ценными признаками.

Список литературы

1. Geigenberger P. Regulation of sucrose to starch conversion in growing potato tubers. *Journal of Experimental Botany*. 2003;54(382):457-465. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erg074>
2. Семенова А. В., Гольдштейн В. Г., Дегтярев В. А., Морозова А. А., Королева А. К. Изучение состава картофеля по хозяйственно ценным признакам, определяющим его пригодность к промышленной переработке. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(6):841-851. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851> EDN: KFBDKR
3. Jaiswal A. K. Nutritional Significance of Processed Potato Products. In: Raigond P., Singh B., Dutt S., Chakrabarti S. K. (eds) *Potato*. Springer, Singapore, 2020. pp. 247-270. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_14

4. Wang F., Wang C., Song Sh., Xie Sh., Kang F. Study on starch content detection and visualization of potato based on hyperspectral imaging. *Food Science & Nutrition*. 2021;9(8):4420-4430. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2415>
5. Хлесткин В. К., Пельтек С. Е., Колчанов Н. А. Гены-мишени для получения сортов картофеля (*Solanum tuberosum*) с заданными свойствами крахмала. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(1):25-36. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.25rus> EDN: YFQFCH
6. Ягофаров Д. Ш., Канарский А. В., Сидоров Ю. Д., Поливанов М. А. Физико-химические свойства картофельного крахмала. *Вестник Казанского технологического университета*. 2012;15(12):212-215. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17846293> EDN: PANUKV
7. Козлова Л., Литвяк В., Мельситова И. Накопление и морфология крахмала картофеля белорусской селекции. *Наука и инновации*. 2010;(9(91)):43-48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28826085> EDN: YGUVJT
8. Литвяк В. В., Бутрим С. М., Канарский А. В., Канарская З. А. Морфология и размеры зерен природного крахмала разного ботанического происхождения. *Вестник технологического университета*. 2018;21(3):64-69. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34866100> EDN: ORMRJF
9. Лапшинов Н. А., Гантимурова А. Н., Куликова В. И. Селекция картофеля на пригодность к переработке. *Достижения науки и техники АПК*. 2019;33(1):23-26. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10105> EDN: YXRTNZ
10. Дергачева Н. В., Согуляк С. В. Динамика накопления крахмала у раннеспелых сортов и гибридов картофеля в условиях лесостепной зоны Западной Сибири. *Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: сб. тр. Междунар. дистанционной научн.-практ. конф. Челябинск: ФГБНУ ЮУНИИСК, 2018. С. 358-363.* Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35014612> EDN: XOZMCT
11. Liu Q., Weber E., Currie V., Yada R. Physicochemical properties of starches during potato growth. *Carbohydrate Polymers*. 2003;51(2):213-221. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00138-8)
12. Коршунов А. В. Картофель России. М.: ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2003. Т. 2. 321 с.
13. Бутов А. В., Мандрова А. А. Влияние физиолого-биохимических процессов в растениях картофеля на накопление крахмала в клубнях. *Агропромышленные технологии Центральной России*. 2019;(2(12)):48-57. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38319908> EDN: KBZBTQ
14. Leonel M., do Carmo E. L., Fernandes A. M., Soratto R. P., Eburneo Ju. A. M., Garcia É. L., Rodrigues dos Santos T. P. Chemical composition of potato tubers: influence of varieties and growth conditions. *Journal of Food Science and Technology*. 2017;54:2372-2378. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-017-2677-6>
15. Коршунов А. В. Картофель России. М.: ООО «Редакция журнала «Достижения науки и техники АПК», 2003. Т. 3. 331 с.
16. Пшеченков К. А., Зейрук В. Н., Еланский С. Н., Мальцев С. В. Технологии хранения картофеля. М.: «Картофелевод», 2007. 192 с. Режим доступа: <http://www.kartofel.org/knigi/hranenie.pdf>

References

1. Geigenberger P. Regulation of sucrose to starch conversion in growing potato tubers. *Journal of Experimental Botany*. 2003;54(382):457-465. DOI: <https://doi.org/10.1093/jxb/erg074>
2. Semenova A. V., Goldstein V. G., Degtyarev V. A., Morozova A. A., Koroleva A. K. Study of the composition of potatoes by agronomic traits determining its suitability for industrial processing. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(6):841-851. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.6.841-851>
3. Jaiswal A. K. Nutritional Significance of Processed Potato Products. In: Raigond P., Singh B., Dutt S., Chakrabarti S. K. (eds) *Potato*. Springer, Singapore, 2020. pp. 247-270. DOI: https://doi.org/10.1007/978-981-15-7662-1_14
4. Wang F., Wang C., Song Sh., Xie Sh., Kang F. Study on starch content detection and visualization of potato based on hyperspectral imaging. *Food Science & Nutrition*. 2021;9(8):4420-4430. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.2415>
5. Khlestkin V. K., Peltek S. E., Kolehanov N. A. Target genes for development of potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivars with desired starch properties (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2017;52(1):25-36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.25rus>
6. Yagofarov D. Sh., Kanarskiy A. V., Sidorov Yu. D., Polivanov M. A. Physical and chemical properties of potato starch. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*. 2012;15(12):212-215. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17846293>
7. Kozlova L., Litviyay V., Melsitova I. Accumulation and morphology of the starch potatoes of the belarusian selection. *Nauka i innovatsii = The Science and Innovations*. 2010;(9(91)):43-48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=28826085>

8. Litvyak V. V., Butrim S. M., Kanarskiy A. V., Kanarskaya Z. A. Morphology and sizes of native starch grains of different botanical origin. *Vestnik tekhnologicheskogo universiteta*. 2018;21(3):64-69. (In Russ.).

URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34866100>

9. Lapshinov N. A., Gantimurova A. N., Kulikova V. I. Potato Breeding for Suitability to Processing. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2019;33(1):23-26. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2019-10105>

10. Dergacheva N. V., Sogulyak S. V. Dynamics of starch accumulation in early maturing potato varieties and hybrids in the conditions of the forest-steppe zone of Western Siberia. Topical issues of horticulture and potato growing: Collection of works of the International distant scientific-practical. conf. Chelyabinsk: *FGBNU YuUNIISK*, 2018.wq pp. 358-363. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35014612>

11. Liu Q., Weber E., Currie V., Yada R. Physiochemical properties of starches during potato growth. *Carbohydrate Polymers*. 2003;51(2):213-221. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0144-8617\(02\)00138-8](https://doi.org/10.1016/S0144-8617(02)00138-8)

12. Korshunov A. V. Russian potatoes. Moscow: *ООО «Redaktsiya zhurnala «Dostizheniya nauki i tekhniki APK»*, 2003. Vol. 2. 321 p.

13. Butov A. V., Mandrova A. A. The impact of physiological and biochemical processes in potatoes plants on accumulation of starch in tubers. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii = Agro Central Russian Technologies*. 2019;(2(12)):48-57. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=38319908>

14. Leonel M., do Carmo E. L., Fernandes A. M., Soratto R. P., Ebúrneo Ju. A. M., Garcia É. L., Rodrigues dos Santos T. P. Chemical composition of potato tubers: influence of varieties and growth conditions. *Journal of Food Science and Technology*. 2017;54:2372-2378. URL: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13197-017-2677-6>

15. Korshunov A. V. Russian potatoes. Moscow: *ООО «Redaktsiya zhurnala «Dostizheniya nauki i tekhniki APK»*, 2003. Vol. 3. 331 p.

16. Pshechenkov K. A., Zeyruk V. N., Elanskiy S. N., Maltsev S. V. Potato storage technologies. Moscow: *«Kartofelevod»*, 2007. 192 p. URL: <http://www.kartofel.org/knigi/hranenie.pdf>

Сведения об авторах

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

Синцова Нина Фёдоровна, кандидат с.-х. наук, ст. научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5135-9978>

Кратюк Елена Ивановна, агроном-семеновод, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

Information about the authors

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

Nina F. Sintsova, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5135-9978>

Elena I. Kratyuk, agronomist-seed grower, Falenki Breeding Station – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Timiryazev str., 3, s. Falenki, Kirov region, Russian Federation, 612500, e-mail: fss.nauka@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости

© 2023. Л. В. Волкова ✉

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

Проведен мониторинг метеорологических условий за период «май-август» в Кировской области (Волго-Вятский регион) с 2008 по 2022 год, установлен возрастающий тренд суммы осадков и значений гидротермического коэффициента (ГТК) и нисходящий – суммы эффективных температур. На примере ранних сортов (Ирень, Баженка) и среднеспелых (Приокская, Симбирцит, Маргарита, Каменка) сортов яровой пшеницы определен уровень и направление изменчивости основных хозяйственно ценных признаков при изменении значений ГТК. У ранних сортов с увеличением ГТК вегетационного периода существенно снижались содержание белка и клейковины в зерне, возрастали: урожайность, продолжительность вегетации, высота растений, плотность колоса, масса 1000 зерен, густота продуктивного стеблестоя, натура зерна и показатель глютен-индекса. Элементы продуктивности колоса были максимально выражены в оптимальные по влагообеспеченности годы. Реакция среднеспелых сортов была схожей по большинству признаков, за исключением числа зерен в колосе, массы зерна с колоса и растения, натуры зерна. С помощью корреляционного анализа рассмотрено влияние метеорологических факторов на формирование признаков яровой пшеницы как за весь период вегетации, так и по отдельным месяцам. Выявлена высокая зависимость продолжительности вегетационного периода и содержания белка в зерне от суммы эффективных температур за май-август ($r = 0,64 \dots 0,77$). Количество осадков вносило существенный вклад в формирование признаков лишь в критические фазы развития растений. Анализ уравнений регрессии, полученных с использованием 11 переменных (факторы погоды по месяцам) при объеме временной выборки 15 лет, показал, что повышение суммы осадков июня на 10 мм приводит к повышению урожайности в среднем на 0,13...0,14 т/га, а снижение среднесуточной температуры августа на 1 °C – к повышению урожайности на 0,23...0,26 т/га. Продолжительность вегетационного периода сокращалась при повышении на 1 °C среднесуточной температуры июня на 2,2...2,4 дня, июля – на 2,3...3,0 дня, августа – на 1,3 дня. Содержание белка в зерне более всего зависело от среднесуточной температуры июня – с повышением на 1 °C количество белка увеличивалось на 0,85...0,87 %.

Ключевые слова: *Triticum aestivum* L., метеорологические факторы, хозяйственно ценные признаки, изменчивость

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).

Автор благодарит рецензентов за вклад экспертную оценку работы.

Конфликт интересов: автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Волкова Л. В. Влияние гидротермических условий Кировской области на продуктивность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):377-388. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388>

Поступила: 10.01.2023

Принята к публикации: 19.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The influence of hydrothermal conditions of the Kirov region on the productivity and quality of grain of spring soft wheat varieties of different ripeness groups

© 2023. Lyudmila V. Volkova ✉

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

Meteorological conditions were monitored for the period "May-August" in the Kirov region (Volga-Vyatka region) from 2008 to 2022. An increasing trend of the sum of precipitation and hydrothermal coefficient (HTC) values and a descending trend of the sum of effective temperatures was established. By the example of early-ripening (Iren, Bazhenka) and middle-ripening (Priokskaya, Simbirsit, Margarita, Kamenka) varieties of spring wheat, the level and direction of variability of the main agronomic traits by changing the values of the HTC have been determined. In early-maturing varieties with an increase in the HTC of the growing season the content of protein and gluten in the grain significantly decreased, and the following increased: yield, duration of vegetation, plant height, ear density, mass of 1000 grains, density of the productive stem, the nature of the grain and the indicator of the gluten index. The elements of ear productivity were maximally expressed in the years optimal in terms of moisture. The reaction of medium-ripened varieties was similar according to the greater number of traits, except for the number of grains per ear, the weight of the grain per ear and the plant, the nature of the grain. By means of the correlation analysis, the influence of meteorological factors on the development of traits of spring wheat both for the entire growing season and for individual months has been studied. A high dependence of the duration of the growing season and the protein content in the grain on the sum of effective temperatures for May-August ($r = 0.64 \dots 0.77$) was revealed. The amount of precipitation made a significant contribution to the formation of traits only in critical phases of plant development.

The analysis of regression equations obtained using 11 variables (weather factors by months) with a time sample size of 15 years showed that an increase in the amount of precipitation in June by 10 mm led to an increase in yield by an average of 0.13...0.14 t/ha, and a decrease in the average daily temperature of August by 1 °C provided an increase in yield by 0.23...0.26 t/ha. The duration of the growing season decreased in June by 2.2...2.4 days with 1 °C increase in the average temperature; in July – by 2.3...3.0 days; in August – by 1.3 days. The protein content in the grain most of all depended on the average daily temperature in June, with of 1 °C increase the amount of protein raised by 0.85...0.87 %.

Keywords: *Triticum aestivum* L., meteorological factors, agronomic traits, variability

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

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

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

For citations: Volkova L. V. The influence of hydrothermal conditions of the Kirov region on the productivity and quality of grain of spring soft wheat varieties of different ripeness groups. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):377-388. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.377-388>

Received: 10.01.2023

Accepted for publication: 19.05.2023

Published online: 28.06.2022

В последние годы усилился интерес к оценке климатических рисков при возделывании основных продовольственных культур. Изменения климата на территории России за 36-летний период (1976–2012 гг.) неодинаково повлияли на производство сельскохозяйственных культур в разных зонах¹. К факторам, благоприятным для роста и развития растений на севере страны, можно отнести увеличение теплообеспеченности и продолжительности вегетационного периода, улучшение условий перезимовки, повышение запасов органического углерода в пахотных почвах [1]. Изменения увлажненности территории также в целом положительно сказываются на аграрном производстве в большинстве сельскохозяйственных регионов. Вследствие этого, возможен устойчивый рост продуктивности сельского хозяйства в России до середины XXI в. [2]. Негативным последствием наблюдаемого потепления климата является повышение его засушливости в южных регионах России, смещение границ ареалов и зон массового размножения вредителей и возбудителей болезней сельскохозяйственных растений. Косвенный эффект глобального потепления заключается также в возрастании водопотребления растений из-за повышенной транспирации, что в конечном итоге может ограничивать их продуктивность.

Изучение изменчивости агроклиматических факторов помогает корректировать стратегию производства и прогнозировать продуктивность сельскохозяйственных культур на конкретной территории. В Волго-Вятском регионе России (Кировская область) проведены исследования, в которых установлен устойчивый положительный тренд среднегодовой температуры воздуха со скоростью 0,39 °C/10 лет.

Два последних десятилетия отмечены как самые теплые за 50 лет с температурой воздуха, превышающей климатическую норму на 0,7...2,6 °C. [3]. При этом потепление в Кировской области формируется за счет зимних месяцев, летний же период отличается слабым ростом температуры воздуха. По данным Ю. П. Переведенцева с соавт. [4], на большей части территории Кировской области за 1966...2004 гг. выросло количество годовых сумм осадков, в основном за счет осадков теплого периода. Указанные изменения можно рассматривать как позитивные, поскольку ведут к ослаблению суровости климата. К негативным факторам следует отнести избыточное увлажнение, возврат заморозков в ранневесенний период, усиление частоты и интенсивности экстремальных явлений, включая вторжение холодных воздушных масс с севера, волны тепла, сильные ливни и другие.

Яровая пшеница, в сравнении с другими зерновыми культурами, отличается повышенной требовательностью к условиям произрастания и высокой вариабельностью урожаев, поэтому оценке влияния метеорологических факторов на ее развитие посвящено много работ. Обнаружена высокая зависимость продолжительности вегетационного периода от температурного режима [5]. Практически все авторы отмечают сильные корреляции между погодными условиями в период трубкования и урожайностью яровой пшеницы: обратная с температурой воздуха и прямая – с количеством осадков [3, 6, 7, 8]. Согласно исследованиям [9, 10], значительное влияние на продуктивность яровой пшеницы оказывает уровень влагообеспеченности, выраженный через гидротермический коэффициент (ГТК).

¹Доклад о климатических рисках на территории Российской Федерации. Под ред. В. М. Катцова. СПб., 2017. 106 с. URL: <http://cc.voeikovmgo.ru/images/dokumenty/2017/riski.pdf>

Для обеспечения учета возможных последствий изменения климата в сельском хозяйстве необходимо решить задачи по прогнозированию возможной изменчивости продуктивности культурных растений, созданию моделей и разработке направлений селекции сортов, способных адаптироваться к новым условиям и эффективно использовать водные, тепловые и световые ресурсы [11, 12].

Цель исследования – выявить влияние метеорологических факторов 2008...2022 гг. в Кировской области на продолжительность вегетационного периода, урожайность, структуру продуктивности и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости.

Новизна исследований – проведена оценка воздействия лимитирующих погодных факторов на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы в условиях Кировской области.

Материал и методы. Опыт закладывали в двупольном севообороте «яровая пшеница-чистый пар» с использованием районированных сортов раннеспелой группы (Ирень, Баженка) и среднеспелой группы (Приокская, Симбирцит, Маргарита, Каменка). Площадь делянки в питомнике конкурсного сортоиспытания 13,5 м², повторность четырехкратная, норма высева – 6 млн всхожих семян/га. Почва опытного участка типичная для региона (дерново-подзолистая среднесуглинистая, рН 4,8-5,2; содержание гумуса низкое – 2,0 % (по Тюрину, ГОСТ 26213-91), подвижного фосфора высокое – 191 мг/кг почвы, обменного калия повышенное – 130 мг/кг (по Кирсанову, ГОСТ 26207-91). Обработка почвы включала зяблевую вспашку, ранневесеннее боронование, внесение минеральных удобрений (NPK от 16 до 30 кг д. в. на 1 га), предпосевную культивацию и после-посевное прикатывание. Полевые учеты и наблюдения проводили по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур².

В работе учитывали следующие метеорологические показатели с мая по август: сумма осадков, среднемесячная температура воздуха, сумма эффективных температур воздуха выше +5 °С, гидротермический коэффициент (ГТК),

рассчитанный по Г. Т. Селянинову³. Информация о погоде получена с метеорологической станции Киров (Кировская область, Россия). Современное местоположение метеостанции: широта 58.60, долгота 49.63, высота над уровнем моря 158 м⁴. Отклонения метеорологических значений в отдельные годы приводили в сравнении с многолетними средними за исследуемый период.

Данные обрабатывали методами вариационной статистики, корреляционного и множественного регрессионного анализов с использованием пакетов программ Agros 2.07 и Microsoft Excel 2016. Для разработки уравнений регрессии использовали экспериментальные данные, полученные при изучении сортов яровой пшеницы в 2008...2022 гг. (урожайность и элементы продуктивности растения) и 2013...2022 гг. (качество зерна).

Результаты и их обсуждение. Вегетация растений начинается с даты, когда средняя суточная температура устойчиво переходит через +5 °С (биологический минимум основных сельскохозяйственных культур, в т. ч. пшеницы). Потребность растений в тепле, выраженная суммой эффективных температур выше +5 °С, рассчитана в настоящее время для всех культурных растений. В зависимости от скороспелости сорта для яровой пшеницы⁵ она находится в пределах 1300...1700 °С. Сумма эффективных температур (май-август) за 15-летний период исследования варьировала в пределах 1135...1718 °С, среднее значение составило 1420 °С. Сумма осадков за аналогичный период находилась в диапазоне от 193 до 343 мм при среднем многолетнем значении 270 мм. Если проследить тренд изменений, то количество осадков за май-август выросло в среднем с 250 до 290 мм, в то время как по сумме температур наблюдали снижение с 1460 до 1370 °С, значения ГТК выросли в среднем с 1,15 до 1,35 (рис. 1).

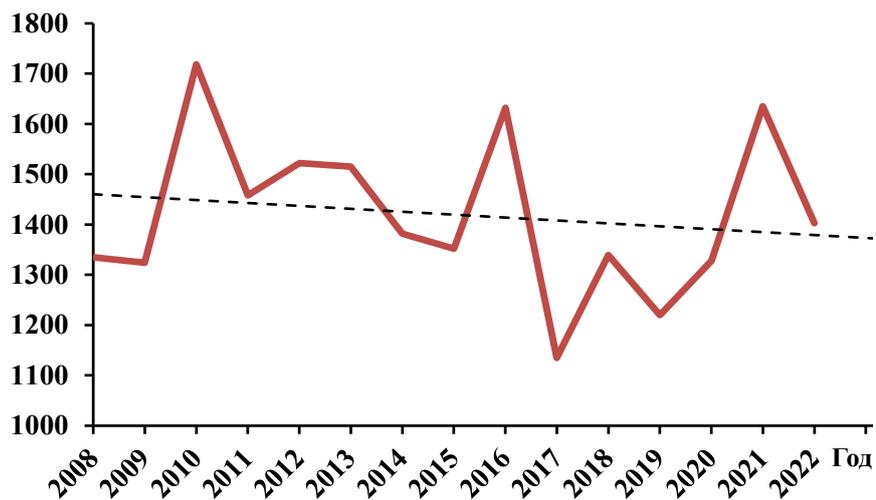
Согласно показателям гидротермического коэффициента, годы испытаний разделены на три группы: благоприятные (2008, 2011, 2012, 2015, 2018, 2019, 2020, 2022 гг.), недостаточно увлажненные (2010, 2013, 2014, 2016, 2021 гг.) и избыточно увлажненные (2009, 2017 гг.) (табл. 1).

²Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Вып. 1, 2. Под общ. ред. Федина М. А. М.: Колос, 1985. 267 с.

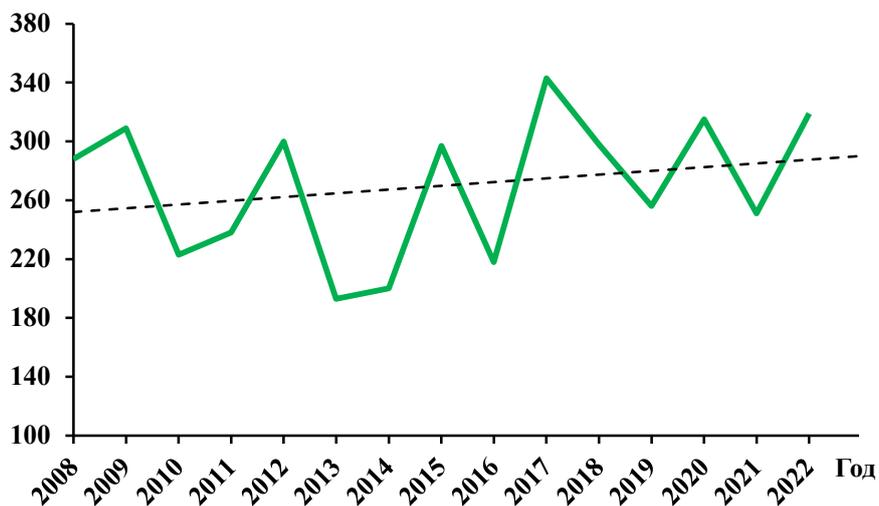
³Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. Л.-М.: Гидрометеорол. изд-во, 1928. Вып. 20. С. 165-177.

⁴Погода и климат. [Электронный ресурс]. URL: www.pogodaiklimat.ru (дата обращения: 28.11.2022).

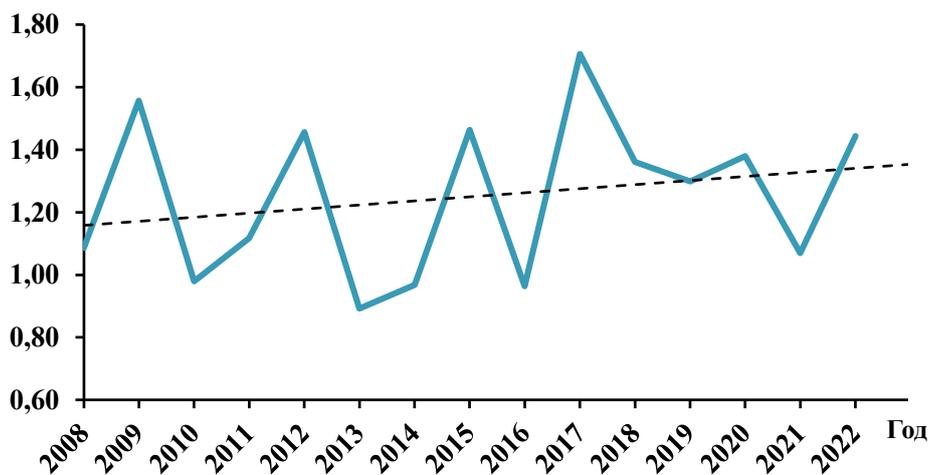
⁵Павлова М. Р. Практикум по агрометеорологии. Л.: Гидрометеоздат, 1984. 184 с.



Сумма эффективных температур >5 °C /
Sum of effective temperatures >5 °C



Сумма осадков, мм / Precipitation amount, mm



ГТК / НТС

Рис. 1. Изменение основных агрометеорологических показателей за май-август в течение 15-летнего цикла /

Fig.1. Changes in the main agrometeorological indicators for May-August during the 15-year cycle

Таблица 1 – Урожайность сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от гидротермических условий вегетации (2008...2022 гг.) /

Table 1 – Yield of spring soft wheat varieties depending on hydrothermal vegetation conditions (2008...2022)

| <i>Гидротермические условия вегетации (кол-во лет) / Hydrothermal conditions of vegetation (number of years)</i> | <i>Сумма эффект. $t > 5\text{ }^\circ\text{C}$ / The sum of the efficiencies $t > 5\text{ }^\circ\text{C}$</i> | <i>Сумма осадков, мм / The sum precipitation, mm</i> | <i>ГТК / HTC</i> | <i>Урожайность, т/га (отклонение от среднего, %) / Yield, t/ha (deviation from the average, %)</i> | |
|--|--|--|------------------|--|---------------------------------------|
| | | | | <i>раннеспелые / early maturing</i> | <i>среднеспелые / medium-ripening</i> |
| <i>Благоприятные (n = 8) / Favorable years</i> | 1220...1635 | 238...319 | 1,10...1,44 | 3,02 (+4,2) | 3,62 (+5,6) |
| <i>Недостаточно увлажненные (n = 5) / Insufficiently hydrated years</i> | 1382...1718 | 193...251 | 0,89...1,07 | 2,38 (-17,9) | 2,76 (-19,5) |
| <i>Избыточно увлажненные (n = 2) / Over-hydrated years</i> | 1135...1324 | 309...343 | 1,56...1,70 | 3,72 (+28,3) | 4,34 (+26,6) |
| <i>Среднее многолетнее значение / Long-term average value</i> | 1420 | 270 | 1,25 | 2,90 | 3,43 |

Применительно к производству сельскохозяйственных культур климатический риск можно определить как вероятность ожидаемых потерь урожайности, отношение числа лет с урожайностью ниже некоторого критического уровня к общему числу лет рассматриваемого периода. В Кировской области метеорологические условия характеризовались как благоприятные в 53 % случаев лет, когда ГТК варьировал в пределах 1,10...1,44, отклонение от среднего многолетнего значения составило -12,0...+15,2 %. Средняя урожайность у раннеспелых и среднеспелых сортов была на 0,12...0,19 т/га (4,2...5,6 %) выше средних многолетних значений. Процентное соотношение лет с недостаточным и избыточным увлажнением составило соответственно 33 и 13 %, при этом значения ГТК отклонялись в меньшую (на -28,8...-14,4 %) и большую (на 24,8...36,0 %) сторону от нормы. Урожайность во влажные годы повышалась на 0,82...0,91 т/га (26,6...28,3 %), в засушливые – снижалась на 0,52...0,67 т/га (17,9...19,5 %) по сравнению со среднемноголетним значением.

Сравнение средних групповых значений основных хозяйственно ценных признаков, сформированных в сходные по гидротермическим условиям годы, в одном пункте и при одинаковом уровне агротехники, позволило оценить уровень и направление их изменчивости. У раннеспелых сортов с увеличением ГТК, наряду с урожайностью, возрастали значения признаков – продолжительность вегета-

ционного периода (на 15,9 %), высота растений (на 21,3 %), плотность колоса (на 6,2 %), масса 1000 зерен (на 4,2 %), густота продуктивного стеблестоя (на 8,0 %), натура зерна (на 3,6 %), показатель глютен-индекса (на 40,2 %). Элементы продуктивности колоса и растения (длина колоса, число колосков, число зерен, масса зерна) были максимально выражены в годы, оптимальные по уровню ГТК, и незначительно снижались (на 2,0...8,2 %) в годы с недостатком или избытком осадков. Изменение гидротермического режима существенно сказывалось на содержании белка и клейковины в зерне – в засушливые годы эти показатели возрастали соответственно на 6,7 и 11,7 %, в годы с избыточным увлажнением – снижались на 23,2 и 22,6 % от средних значений (рис. 2).

Реакция на изменение условий вегетации у среднеспелых сортов была схожей по большинству признаков, за исключением некоторых показателей продуктивности колоса: число зерен и масса зерна с колоса и растения имели тенденцию к увеличению с ростом ГТК (на 13,9...26,6 %), изменений массы 1000 зерен не наблюдали, натура зерна уменьшилась на 3,2 % (рис. 3).

При анализе значений признаков в условиях каждого года можно отметить, что максимальную урожайность сорта показали в 2009 году при ГТК = 1,56 (125 % к средней многолетней). Потенциал раннеспелых сортов в условиях Кировской области составил 4,69 т/га (Ирень), у среднеспелых – 5,12 т/га (Приокская) (табл. 2).

В жарком и засушливом 2016 году (ГТК = 0,96) урожайность снизилась до минимальных значений – 1,25 т/га у раннеспелого сорта Баженка и до 1,93 т/га – у среднеспелого сорта

Симбирцит. Соотношение максимальной и минимальной урожайности за годы исследований у раннеспелых и среднеспелых сортов составило соответственно 3,8 и 2,6.

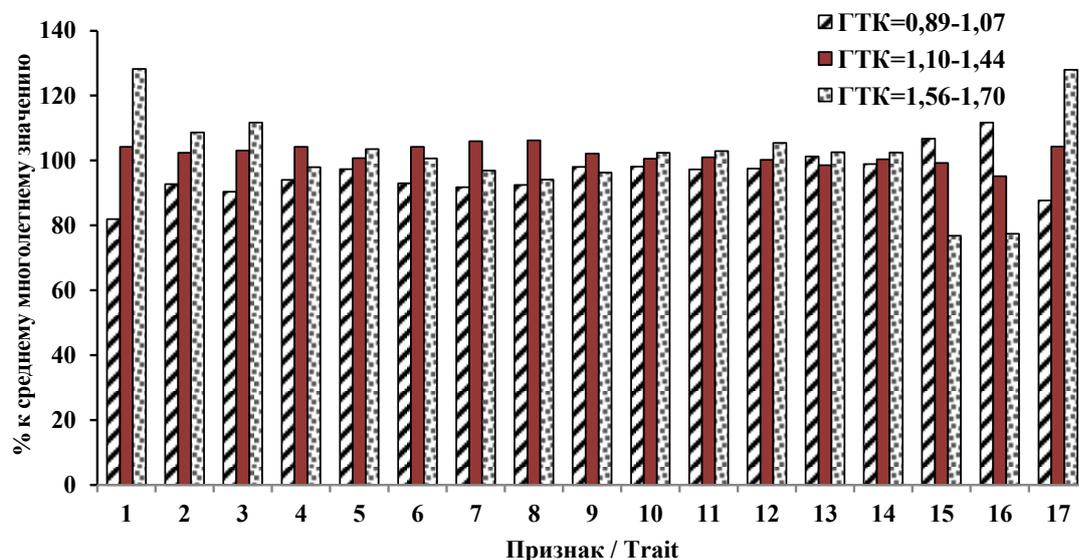


Рис. 2. Изменение хозяйственно ценных признаков у раннеспелых сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от уровня ГТК вегетационных периодов, % к среднему многолетнему значению. Признаки: 1 – урожайность; 2 – продолжительность вегетационного периода; 3 – высота растений; 4 – длина колоса; 5 – плотность колоса; 6 – число колосков в колосе; 7 – число зерен в колосе; 8 – масса зерна с колоса; 9 – масса зерна с растения; 10 – масса 1000 зерен; 11 – число растений на 1 м²; 12 – число колосьев на 1 м²; 13 – продуктивная кустистость; 14 – натура зерна; 15 – содержание белка в зерне; 16 – содержание клейковины в зерне; 17 – глютен-индекс /

Fig. 2. Change of agronomic traits in early-maturing varieties spring soft wheat depending on the level of HTC of growing seasons, % to the average long-term value. Traits: 1 – yield; 2 – duration of the growing season; 3 – plant height; 4 – ear length; 5 – ear density; 6 – number of spikelets in the ear; 7 – number of grains in the ear; 8 – grain weight from the ear; 9 – grain weight from the plant; 10 – weight of 1000 grains; 11 – number of plants per 1 m²; 12 – number of ears per 1 m²; 13 – productive bushiness; 14 – nature of grain; 15 – protein content in grain; 16 – gluten content in grain; 17 – gluten index

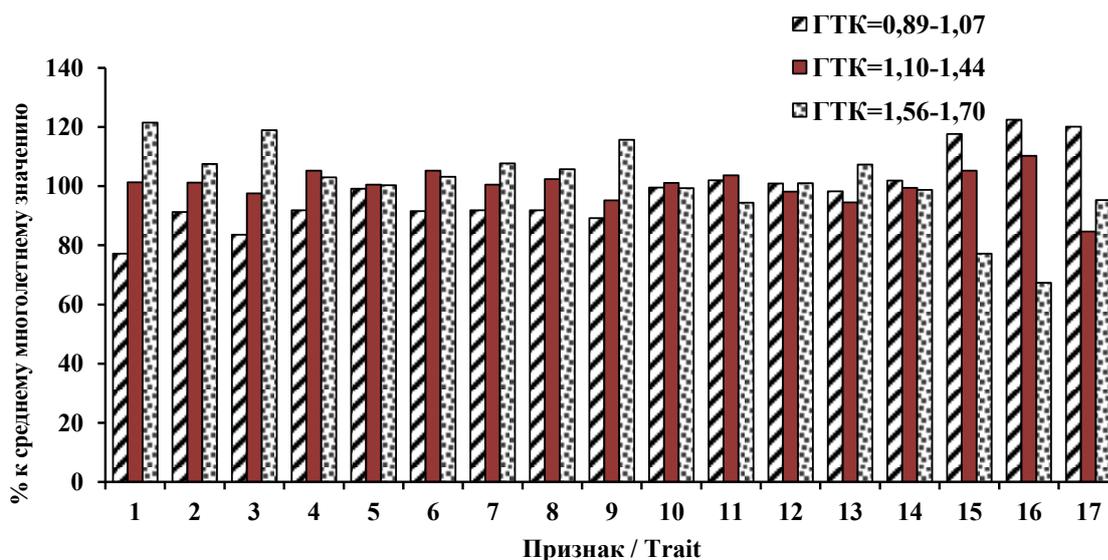


Рис. 3. Изменение хозяйственно ценных признаков у среднеспелых сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от уровня ГТК вегетационных периодов, % к среднему многолетнему значению. Номера признаков соответствуют рисунку 2 /

Fig. 3. Change of agronomic traits in medium-ripening varieties spring soft wheat depending on the level of HTC of growing seasons, % to the average long-term value. Numbers of traits correspond to Fig. 2.

Колебания погоды по годам привели к значительной вариабельности ($V \geq 25,0\%$) показателей урожайности и качества зерна (клейковина, глютен-индекс). При этом у раннеспелых сортов варьирование было более высоким по урожайности, у среднеспелых – по

показателям качества зерна. Коэффициент детерминации (R^2), полученный в результате множественного регрессионного анализа, показывает, сколько процентов общей изменчивости признака обусловлено вариацией метеофакторов, приведенных в таблице 2.

Таблица 2 – Влияние метеорологических факторов вегетационного периода (май-август) на урожайность, элементы структуры продуктивности и качество зерна у сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости / Table 2 – Influence of meteorological factors of the growing season (May...August) on yield, elements of productivity structure and grain quality in spring soft wheat varieties of different ripeness groups

| Признак / Trait | Среднее значение / Average value | Пределы варьирования / Limits of variation | V, % | Коэффициент корреляции / Correlation coefficient (r) | | | R ² , % |
|---|----------------------------------|--|--------------|---|---|----------------|--------------------|
| | | | | сумма эффект. $t > 5\text{ }^\circ\text{C}$ / the sum of the efficiencies $t > 5\text{ }^\circ\text{C}$ | сумма осадков, мм / the sum precipitation, mm | ГТК / HTC | |
| Урожайность, т/га / Yield, t/ha | 2,90 3,43 | 1,25...4,69 1,93...5,12 | 29,9 26,5 | -0,22 -0,32 | 0,28 0,35 | 0,30 0,38 | 9,0 15,6 |
| Вегетационный период, сут / Growing season, day | 81 85 | 72...100 75...104 | 9,8 9,6 | -0,76** -0,77** | 0,39 0,36 | 0,53* 0,53* | 62,4 69,4 |
| Высота растений, см / Plant height, cm | 76,5 85,8 | 54,5...94,5 64,6...107,7 | 14,8 17,2 | -0,20 -0,55* | 0,34 0,42 | 0,28 0,42 | 12,0 31,4 |
| Длина колоса, см / Ear length, cm | 6,8 7,1 | 4,7...7,8 4,6...8,5 | 11,4 14,5 | 0,05 -0,02 | 0,29 0,29 | 0,20 0,20 | 17,8 13,1 |
| Плотность колоса / Ear density | 1,6 1,7 | 1,4...1,8 1,5...1,9 | 7,7 7,5 | -0,22 -0,08 | 0,54* 0,13 | 0,36 0,13 | 43,6 1,8 |
| Число колосков в колосе, шт. / The number of spikelets in the ear, pcs. | 12,1 12,9 | 8,4...14,6 8,2...14,9 | 13,7 12,0 | -0,07 -0,10 | 0,46 0,42 | 0,26 0,32 | 34,9 21,9 |
| Число зерен в колосе, шт. / Number of grains per ear, pcs. | 23,6 25,5 | 15,6...28,6 16,9...33,4 | 14,6 17,5 | -0,04 0,02 | 0,34 0,14 | 0,25 0,04 | 16,7 7,9 |
| Масса зерна с колоса, г / Weight of grain from the ear, g | 0,87 1,07 | 0,69...1,18 0,75...1,41 | 18,7 15,5 | -0,02 -0,21 | 0,25 0,21 | 0,23 0,22 | 9,1 5,9 |
| Масса зерна с растения, г / Grain weight per ear, g | 0,96 1,16 | 0,69...1,38 0,90...1,76 | 21,3 19,9 | 0,10 -0,19 | 0,01 0,18 | 0,04 0,24 | 3,9 6,9 |
| Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g | 36,7 42,3 | 32,8...44,0 34,3...51,1 | 8,7 10,7 | -0,11 -0,33 | 0,13 0,08 | 0,23 0,25 | 9,1 24,6 |
| Число растений на 1 м ² , шт. / Number of plants per 1 m ² , pcs. | 446 434 | 340...560 364...602 | 12,7 12,8 | -0,15 0,01 | 0,21 0,20 | 0,15 0,07 | 6,2 12,8 |
| Число продуктивных колосьев на 1 м ² , шт. / The number of productive ears per 1 m ² , pcs. | 460 474 | 325...566 324...618 | 14,3 14,5 | -0,27 -0,10 | 0,03 0,06 | 0,07 0,07 | 10,1 1,0 |
| Продуктивная кустистость, шт. / Productive bushiness, pcs. | 1,04 1,10 | 0,97...1,43 0,86...1,30 | 13,2 12,0 | -0,16 -0,16 | -0,23 -0,11 | -0,10 0,04 | 22,4 16,7 |
| Натура зерна, г/л / Nature of grain, g/l | 764 757 | 723...793 732...801 | 2,8 3,4 | -0,05 0,64* | 0,34 -0,13 | 0,44 -0,29 | 40,3 52,8 |
| Содержание белка в зерне, % / Protein content in grain, % | 10,5 9,2 | 9,1...13,9 6,1...13,0 | 18,6 23,6 | 0,64* 0,74* | -0,19 -0,08 | -0,28 -0,24 | 57,4 83,5 |
| Содержание клейковины в зерне, % / Gluten content in grain, % | 25,3 21,3 | 18,2...37,5 12,9...32,7 | 26,6 31,9 | 0,59 0,73* | -0,24 -0,07 | -0,29 -0,22 | 55,8 87,7 |
| Глютен-индекс, % / Gluten index, % | 73 70 | 51...96 22...95 | 25,8 27,7 | -0,47 0,10 | 0,28 -0,38 | 0,32 -0,39 | 28,5 34,7 |

Примечания: верхняя строка – раннеспелые сорта, нижняя строка – среднеспелые сорта; * значимо при $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$ / Notes: the upper line is early-ripening varieties, the lower line is medium-ripening varieties; * significant at $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$

Урожайность раннеспелых сортов была детерминирована условиями года всего на 9,0 %, у среднеспелых – на 15,6 %. Высокую вариабельность и относительно небольшой вклад метеоусловий в изменчивость можно объяснить тем, что урожайность является сложным комплексным признаком, результатом взаимодействия многих составляющих, на которые среда воздействует с неодинаковой силой и в разных, часто противоположных, направлениях в отдельных временных промежутках периода вегетации. Если же рассматривать влияние погоды в отдельные месяцы, то достоверный (при $p \leq 0,05$) положительный вклад в урожайность вносили осадки июня, т. е. в период максимального набора биомассы ($r = 0,48 \dots 0,52$), отрицательный – среднесуточная температура августа, в период налива и созревания зерна ($r = -0,57 \dots -0,62$). В целом можно отметить, что повышение уровня увлажненности сезона активной вегетации благоприятно влияло на урожайность сортов обеих групп спелости.

Содержание клейковины и ее хлебопекарные свойства (глютен-индекс) – признаки, высокая амплитуда варьирования которых была обусловлена погодными условиями соответственно на 55,8 и 28,5 % у раннеспелых сортов и на 87,7 и 34,7 % – у среднеспелых. Установлена тесная достоверная связь содержания клейковины в зерне у всех сортов с суммой эффективных температур за вегетационный период ($r = 0,59 \dots 0,73$), максимальное влияние оказывала температура воздуха в июне ($r = 0,72$). С количеством осадков за весь вегетационный период достоверной связи не найдено, но у раннеспелой группы сортов проявилась значимая отрицательная корреляция с количеством осадков в июне ($r = -0,68$) (табл. 2). По содержанию клейковины раннеспелые сорта формировали зерно на уровне ценной пшеницы (25,0 % и более) в 50 % изученных лет, среднеспелые сорта – в 30 % случаев.

Влияние температурного режима на показатель глютен-индекса у сортов разных групп спелости было неоднозначным: у раннеспелых с ростом суммы температур воздуха в целом за вегетационный период снижалось качество клейковины ($r = -0,47$), особенно сильное негативное влияние оказывала высокая температура воздуха июня ($r = -0,54$, $p \leq 0,05$) и большое количество осадков в августе ($r = -0,40$). Качество клейковины у среднеспелых сортов

в наибольшей степени зависело от погодных условий августа: температуры ($r = 0,47$) и количества осадков ($r = -0,79$, $p \leq 0,05$).

Средняя степень межсезонного варьирования ($V = 11-25$ %) была характерна для показателей габитуса растений (высота, продуктивная кустистость, длина колоса), элементов продуктивности главного колоса (длина колоса, число колосков, число зерен, масса зерна с колоса) и содержания белка в зерне. Сильное влияние на высоту растений среднеспелых сортов оказывал термический фактор, о чем свидетельствует достоверная отрицательная корреляция этого показателя с суммой температур за вегетационный период. Увеличение количества осадков за вегетационный период, как правило, благоприятно влияло на высоту растений ($r = 0,34 \dots 0,42$). В жаркие засушливые годы у сортов обеих групп спелости высота растений снижалась примерно в 1,7 раза, степень влияния условий года составила 12,0 % у раннеспелых и 31,4 % – у среднеспелых сортов.

Длина колоса определялась условиями года на 13,1...17,8 % и слабо положительно коррелировала с общей суммой осадков и уровнем ГТК. Самая тесная связь длины, числа колосков и числа зерен в колосе прослеживалась с количеством осадков в мае, в стадии «начало выхода в трубку», при этом у раннеспелых сортов она была более выражена ($r = 0,53 \dots 0,73$, $p \leq 0,05$), чем у среднеспелых ($r = 0,30 \dots 0,45$). Считается, что относительно низкая температура воздуха в этот период способствует более интенсивному формированию элементов продуктивности колоса, однако в нашем случае температурный режим не оказывал существенного влияния ($r = 0,01 \dots -0,19$). Масса зерна с колоса формируется из нескольких составляющих и является одним из главных структурных элементов урожайности. В первую половину вегетации повышение температуры воздуха и количества осадков оказывало благоприятное воздействие на этот признак ($r = 0,16 \dots 0,42$), что связано с формированием общей биомассы растений и накоплением ассимилятов. Во вторую (генеративную) фазу развития корреляция между показателями «масса зерна с колоса» и «температура воздуха» меняла знак, усиливаясь в августе у среднеспелых сортов до достоверных отрицательных значений ($r = -0,64$, $p \leq 0,05$). Количество осадков достоверно положительно влияло на массу зерна с колоса также, только у сортов средне-

спелой группы в августе ($r = 0,51$). Положительное воздействие влажной прохладной погоды августа на массу зерна среднеспелых сортов объясняется торможением процессов старения колоса и удлинением срока накопления сухого вещества, в то время как раннеспелые сорта быстро заканчивают вегетацию. В целом можно резюмировать, что на продуктивность колоса сумма эффективных температур за весь вегетационный период оказывала слабое отрицательное влияние, а сумма осадков – слабое положительное. Необходимо отметить также, что показатели продуктивности главного колоса (длина, плотность, число колосков, число зерен, масса зерна) у раннеспелых сортов в большей степени зависели от погодных условий ($R^2 = 9,1...43,6\%$), чем у среднеспелых ($R^2 = 1,8...21,9\%$). Это связано с более быстрым прохождением фаз вегетации, следовательно, большей чувствительностью к недостатку ресурсов в критические периоды развития.

Признаки, определяющие величину продуктивного стеблестоя (продуктивная кустистость, число растений и колосьев на 1 м^2) – важный структурный компонент урожайности. Количество растений зависит от всхожести семян и выживаемости растений, поэтому уровень увлажнения играл значимую положительную роль в мае ($r = 0,75, p \leq 0,05$) и среднюю отрицательную в июне и августе ($r = -0,16...-0,40$), что связано с конкуренцией растений и поражением их болезнями. Способность растений к кущению представляет собой способ регулирования густоты посева при изреживании, вызванной различными причинами. В обеих группах сортов коэффициент продуктивного кущения был снижен в благоприятные годы и повышался в условиях нетипичных лет (рис. 2, 3). Условия тепло- и влагообеспеченности за весь период значимо не влияли на густоту стеблестоя, но можно отметить достоверную связь продуктивной кустистости с осадками июня у сортов более поздних сроков созревания ($r = 0,63, p \leq 0,05$).

Накопление белка в зерне в значительной степени зависело от суммы эффективных температур за весь вегетационный период ($r = 0,64...0,74$), максимальная связь отмечена со среднесуточной температурой июня ($r = 0,79...0,85, p \leq 0,05$), при этом влияние термического фактора отмечено наибольшим у среднеспелых сортов. Количество осадков за вегетационный период практически не влияло на выраженность этого признака, небольшое

усиление корреляции отмечено с осадками июня ($r = -0,31...-0,49$). Однако эту связь можно назвать косвенной, поскольку прохладная и влажная погода в период активного вегетационного развития растений влияет на рост урожайности и, в свою очередь, на снижение содержания белка и клейковины.

К наиболее стабильным показателям, согласно коэффициенту вариации ($V \leq 10\%$), можно отнести: продолжительность вегетационного периода, плотность колоса, массу 1000 зерен и натурную массу зерна. Обнаружена сильная зависимость продолжительности вегетации как раннеспелых, так и среднеспелых сортов от суммы эффективных температур и соответственно от величины ГТК. Например, величина периода вегетации 2019 г. достигала максимальных значений (100...104 суток) при сумме эффективных температур $1220\text{ }^\circ\text{C}$, а в 2010 и 2021 гг. наблюдали сокращение периода в 1,4 раза (72...75 суток) при сумме температур $1635...1718\text{ }^\circ\text{C}$. Влияние гидротермического режима на этот признак было одним из самых значительных ($R^2 = 62,4...69,4\%$). Особенно сильное значимое ($p \leq 0,05$) воздействие на сокращение периода вегетации оказывало повышение среднесуточных температур июля ($r = -0,72...-0,76$) и августа ($r = -0,57...-0,66$). Температурный режим мая слабо влиял на продолжительность вегетации ($r = -0,17...-0,18$), в июне связь усиливалась до средних значений ($r = -0,49$). Достоверное влияние количества осадков отмечено в августе у среднеспелых сортов ($r = 0,51, p \leq 0,05$).

Масса 1000 зерен является сортовым признаком, который детерминируется в большей степени генотипом, чем условиями среды. Влияние погодных условий в нашем исследовании было невысоким у раннеспелых сортов ($R^2 = 9,1\%$) и более значительным – у сортов среднего срока созревания ($R^2 = 24,6\%$). Зависимость массы 1000 зерен от суммы эффективных температур и количества осадков за весь период вегетации была не значимой. Если отследить корреляционную связь с погодой в отдельные месяцы, можно обнаружить, что высокая температура воздуха июля весьма негативно сказывалась на крупности зерна ($r = -0,61...-0,71, p \leq 0,05$). Результатом воздействия высоких температур в фазу «налив зерна» является ускоренное старение ассимилирующих органов, уменьшение общего количества ассимилятов и следовательно массы сухого вещества зерновки.

Отмечено неодинаковое влияние условий вегетации на натурную массу зерна у сортов разных групп спелости. Раннеспелые сорта формировали более высокую натуру зерна при повышении уровня увлажнения ($r = 0,34$ – за весь период; $r = 0,29$ – за июль), а температурный режим существенно не влиял на этот показатель, у среднеспелых сортов наблюдали иную зависимость (при уровне значимости $p \leq 0,05$): данные показатели качества улучшались с ростом суммы температур за весь период вегетации ($r = 0,64$), особенно за июль и август ($r = 0,47 \dots 0,72$), и снижении количества осадков в августе ($r = -0,72 \dots -0,79$).

Большую значимость для практикующих агрономов, семеноводов и селекционеров может иметь создание системы уравнений регрессии, позволяющих прогнозировать уровень урожайности и других признаков, наиболее подверженных влиянию погоды. При проведении множественного регрессионного анализа учитывали 11 переменных с последующим сокращением тех из них, которые не оказывали существенного влияния на зависимую переменную с целью упростить модель. Анализ

полученных уравнений показал, что увеличение суммы осадков июня на 10 мм привело к повышению урожайности в среднем на $0,13 \dots 0,14$ т/га, а снижение среднесуточной температуры августа на 1°C – к повышению урожайности на $0,23 \dots 0,26$ т/га. Исходя из полученных данных испытаний 15-летнего периода, максимальная урожайность формировалась при сумме осадков июня $100 \dots 115$ мм и среднемесячной температуре августа $15 \dots 16^\circ\text{C}$. Продолжительность вегетационного периода при средних значениях $85 \dots 90$ суток формируется при среднемесячной температуре июня $15 \dots 17^\circ\text{C}$, июля $17 \dots 28^\circ\text{C}$, августа – $16 \dots 17^\circ\text{C}$. Продолжительность вегетационного периода сокращалась на $2,22 \dots 2,35$ дня при повышении на 1°C среднесуточной температуры июня; на $2,26 \dots 3,01$ дня – при повышении на 1°C среднесуточной температуры июля; на $1,29$ дня – при повышении на 1°C среднесуточной температуры августа у среднеспелых сортов. Содержание белка в зерне также существенно зависит от средней температуры июня – с повышением на 1°C количество белка может увеличиться на $0,85 \dots 0,87\%$ (табл. 3).

Таблица 3 – Зависимость хозяйственно ценных признаков (Y) яровой мягкой пшеницы от метеофакторов вегетационного периода (X) /

Table 3 – Dependence of agronomic traits (Y) of spring soft wheat on meteorological factors of the growing season (X)

| Признак / Trait | Уравнение регрессии / Regression equation | |
|--|--|--|
| | раннеспелые сорта / Early-maturing varieties | среднеспелые сорта / Medium-maturing varieties |
| Урожайность / Yield | $Y = 55,59 + 0,14X_2 - 2,26X_9$ | $Y = 67,45 + 0,13X_2 - 2,60X_9$ |
| Продолжительность вегетационного периода / The duration of the rowing season | $Y = 177,37 - 2,35X_7 - 3,01X_8$ | $Y = 186,69 - 2,22X_7 - 2,26X_8 - 1,29 X_8$ |
| Содержание белка в зерне / Protein content in grain | $Y = -3,52 + 0,85X_7$ | $Y = -5,16 + 0,87X_7$ |

Примечания: X_2 – сумма осадков июнь; X_7, X_8, X_9 – среднемесячная температура воздуха соответственно за июнь, июль, август /

Notes: X_2 – the amount of precipitation for June; X_7, X_8, X_9 – the average monthly air temperature, respectively, for June, July, August

Заключение. На основании линии тренда метеорологических наблюдений в Кировской области (май-август, 2008...2022 гг.) выявлен рост суммы осадков в среднем с 250 до 290 мм (+16,0 % к исходному значению), гидротермического коэффициента – с 1,15 до 1,35 (+17,4 %) и снижение суммы эффективных температур с 1460 до 1370 $^\circ\text{C}$ (-6,2 %). Данные изменения климатических параметров можно считать положительными для формирования большин-

ства признаков продуктивности яровой мягкой пшеницы и отрицательными – для качества зерна. У раннеспелых сортов в годы с ростом ГТК происходило снижение содержания белка и клейковины в зерне, возрастали – урожайность, продолжительность вегетационного периода, высота растений, плотность колоса, масса 1000 зерен, густота продуктивного стеблестоя, натура зерна и показатель глютен-индекса. Элементы продуктивности колоса были мак-

симально выражены в оптимальные по гидротермическому режиму годы. Реакция на изменение условий вегетации у среднеспелых сортов была схожей по большинству признаков, за исключением показателей продуктивности колоса и натурной массы зерна – число зерен и масса зерна с колоса и растения с ростом ГТК имели тенденцию к увеличению, натура зерна – к снижению. Наиболее чувствительными к погодным условиям отмечены показатели: урожайность, продолжительность вегетационного периода, высота растений, содержание белка и клейковины в зерне. Основная причина отклонений урожайности от средней многолетней – колебание суммы осадков июня и среднемесячной температуры августа. Увели-

чение продолжительности вегетационного периода в основном было обусловлено снижением суммы эффективных температур с мая по август. Сильное влияние на высоту растений оказывал термический фактор и количество осадков в вегетативный период развития. Содержание белка в значительной степени зависело от температурного режима июня. Максимальная степень варьирования выявлена у среднеспелых сортов по содержанию клейковины, у раннеспелых – по урожайности, поэтому при создании сортов, специфически приспособленных к условиям Кировской области (Волго-Вятский регион), в первую очередь необходима стабилизация этих признаков.

Список литературы

1. Суховеева О. Э., Лыскова И. В., Лыскова Т. В., Попов Ф. А. Воспроизведение динамики потоков углерода в дерново-подзолистой почве. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат-лы VIII Международн. научн.-практ. конф. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2022. С. 214-218. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yyydob> EDN: YYYDOB
2. Немцев С. Н., Шарипова Р. Б. Влияние регионального изменения климата на продуктивность зерновых культур Ульяновской области. Современные тенденции в научном обеспечении агропромышленного комплекса: Коллективная монография. Под ред. В. В. Окоркова. Иваново: ФГБНУ "Верхневолжский федеральный аграрный научный центр", 2019. С. 20-25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40844671> EDN: OJLDWV
3. Лыскова И. В., Суховеева О. Э., Лыскова Т. В. Влияние локального изменения климата на продуктивность яровых зерновых культур в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(2):244-253. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253> EDN: UZZUSA
4. Переведенцев Ю. П., Френкель М. О., Шаймарданов М. З. Современные изменения климатических условий и ресурсов Кировской области. Науч. ред. Э. П. Наумов. Казань: Казанский ГУ, 2010. 242 с. Режим доступа: <https://core.ac.uk/download/pdf/197368947.pdf>
5. Агеева Е. В., Леонова И. Н., Лихенко И. Е., Советов В. В. Масса зерна колоса и масса тысячи зерен как признаки продуктивности у сортов яровой мягкой пшеницы разных групп спелости в условиях лесостепи Приобья. Письма в Вавиловский журнал генетики и селекции. 2021;7(1):5-11. DOI: <https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-01> EDN: XLSVJV
6. Кривобочек В. Г. Итоги и перспективы селекции яровой мягкой пшеницы в лесостепи Среднего Поволжья: монография. Пенза: РИО ПГАУ, 2018. 180 с.
7. Рысин И. И., Акмаров П. Б., Князева О. П. Моделирование влияния климатических факторов на урожайность зерновых культур (на материалах Удмуртии). Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о земле. 2020;30(4):465-472. DOI: <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-4-465-472> EDN: NADXBU
8. Переведенцев Ю. П., Давлятшин И. Д., Лукманов А. А., Мустафина А. Б. Прогнозирование урожайности яровой пшеницы по метеорологическим показателям на примере Тетюшского района Республики Татарстан. Вестник Удмуртского университета. Серия биология. Науки о земле. 2020;30(4):457-464. DOI: <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-4-457-464> EDN: FSMJZO
9. Иванов Д. А., Рубцова Н. Е. Адаптивные реакции сельскохозяйственных растений на ландшафтные условия Нечерноземья. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2007. 356 с.
10. Ленточкин А. М., Бабайцева Т. А. Глобальное потепление и изменение условий ведения растениеводства в Среднем Предуралье. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):826-834. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834> EDN: VWIIZQ
11. Образцов А. С. Потенциальная продуктивность культурных растений. М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2001. 504 с.
12. Елисеев В. И., Сандакова Г. Н. Зависимость формирования элементов структуры урожая яровой твёрдой пшеницы от погодных факторов и минерального питания в условиях Оренбургского Предуралья. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(6(74)):27-29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36716406> EDN: YSUBRR

References

1. Sukhoveeva O. E., Lyskova I. V., Lyskova T. V., Popov F. A. Reconstruction of carbon fluxes dynamics in sod-podzolic soil. Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of VIII International scientific-practical conf. Kirov: FANTs Severo-Vostoka, 2022. pp. 214-218.
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yyydob>
2. Nemtsev S. N., Sharipova R. B. The influence of regional climate change on the productivity of grain crops of the Ulyanovsk region. Modern trends in scientific support of the agro-industrial complex: A collective monograph. Edited by V. V. Okorkov. Ivanovo: FGBNU "Verkhnevolzhskiy federal'nyy agrarnyy nauchnyy tsentr", 2019. pp. 20-25. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=40844671>
3. Lyskova I. V., Sukhoveeva O. E., Lyskova T. V. The influence of local climate change on the productivity of spring cereals in the Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(2):244-253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.2.244-253>
4. Perevedentsev Yu. P., Frenkel' M. O., Shaymardanov M. Z. Modern changes in climatic conditions and resources of the Kirov region. *Nauch. red. E. P. Naumov. Kazan': Kazanskiy GU*, 2010. 242 p.
URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/197368947.pdf>
5. Ageeva E. V., Leonova I. N., Likhnenko I. E., Sovetov V. V. The ear grain weight and the thousand grain weight as productivity traits in varieties of spring bread wheat of different ripening groups in the conditions of the Priob'e steppe. *Pis'ma v Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii = Letters to the Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2021;7(1):5-11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/LettersVJ2021-7-01>
6. Krivobochev V. G. Results and prospects of breeding spring soft wheat in the forest-steppe of the Middle Volga region: monograph. Penza: RIO PGAU, 2018. 180 p.
7. Rysin I. I., Akmarov P. B., Knyazeva O. P. Modelling of influence of climatic factors on productivity of grain crops (on materials of Udmurtiya). *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya. Nauki o zemle = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2020;30(4):465-472. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-4-465-472>
8. Perevedentsev Yu. P., Davlyatshin I. D., Lukmanov A. A., Mustafina A. B. Prognozirovanie urozhaynosti yarovoy pshenitsy po meteoro-logicheskim pokazatelyam na primere Tetyushskogo rayona respubliky Tatarstan. *Vestnik Udmurtskogo universiteta. Seriya biologiya. Nauki o zemle = Bulletin of Udmurt University. Series Biology. Earth Sciences*. 2020;30(4):457-464. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35634/2412-9518-2020-30-4-457-464>
9. Ivanov D. A., Rubtsova N. E. Adaptive reactions of agricultural plants to landscape conditions of the Non-Chernozem region. Kirov: NIISKh Severo-Vostoka, 2007. 356 p.
10. Lentochkin A. M., Babaytseva T. A. Global warming and change in the conditions of crop production practices in the Middle Cis-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2021;22(6):826-834. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.826-834>
11. Obraztsov A. S. Potential productivity of cultivated plants. Moscow: FGNU «Rosinformagrotekh», 2001. 504 p.
12. Eliseev V. I., Sandakova G. N. Dependence of formation of the yield structure elements of spring hard wheat on weather factors and mineral nutrition under the conditions of Orenburg Preduralye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;(6(74)):27-29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36716406>

Сведения об авторе

✉ **Волкова Людмила Владиславовна**, кандидат биол. наук, зав. лабораторией селекции яровой мягкой пшеницы, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru,
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: volkovkirov@mail.ru

Information about the author

✉ **Lyudmila V. Volkova**, PhD in Biology, Head of the Laboratory of Spring Soft Wheat Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, **ORCID:** <http://orcid.org/0000-0002-0837-8425>, e-mail: volkovkirov@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.389-398>
УДК 635.21:633.49:631.563



Химическая защита картофеля от грибных болезней с учетом устойчивости сорта

© 2023. В. А. Барков¹, Д. А. Белов¹, В. Н. Зейрук² Г. Л. Белов²✉, М. К. Деревягина², С. В. Васильева², А. Р. Бухарова³

¹АО Фирма «Август», г. Москва, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», Московская область, г. Люберцы, д. п. Красково, Российская Федерация,

³ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», Московская область, г. о. Балашиха, Российская Федерация

В условиях Московской области (2019-2022 гг.) изучали эффективность фунгицидов новых химических классов в системе защиты картофеля от ризоктониоза, фитофтороза и альтернариоза с учетом различной устойчивости сортов (Гулливер, Грант, Сантэ) к болезням. Клубни картофеля перед посадкой обрабатывали препаратом Идикум, СК, биологическая эффективность которого в снижении пораженности ризоктониозом в фазу полных всходов составила 76,7-95,7%. Установлено, что результативность препарата зависела от степени развития болезни, устойчивости сорта и фазы развития культуры. Кроме того, при протравливании посадочного материала Идикум, СК заселенности склероциями ризоктониоза не отмечено и существенно снизилось распространение сухой гнили (в 1,6-5,0 раз) на клубнях нового урожая по сравнению с контролем. Предлагаемая схема защиты картофеля в условиях эпифитотийного развития фитофтороза и альтернариоза на основе комбинированных химических препаратов Метакил, СП, Инсайд, СК с контактными фунгицидами Раек, КЭ, Талант, СК, Тирада, СК показала существенную результативность в снижении их вредоносности, что позволило продлить период вегетации растений, обеспечить более высокий урожай картофеля, его товарность и качество. Применение препаратов обеспечило прибавку урожая на 36,3-47,5% в зависимости от сложившихся погодных условий вегетационного периода и сорта по отношению к контролю (без обработки). Установлено, что биологическая эффективность схемы защиты в снижении степени развития фитофтороза и альтернариоза увеличивалась от восприимчивого к относительно устойчивым сортам и соответственно данная тенденция сохранялась и по прибавке урожайности. Более высокие прибавки получили на неустойчивых сортах Гулливер и Сантэ (10,6-13,5 т/га, или 45,7-56,0%), более низкие – на относительно устойчивом сорте Гранд (7,8 т/га, или 36,0%). Вклад применения схемы защиты в общее варьирование валовой и товарной урожайности картофеля составил 76,5-81,0%, генотипа – 7,9-12,5%, взаимодействия этих факторов – 3,7-4,7%.

Ключевые слова: химические препараты, ризоктониоз, фитофтороз, альтернариоз, распространенность, биологическая эффективность, урожайность, клубневой анализ

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха» (тема № FNRZ-2019-0006)

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Барков В. А., Белов Д. А., Зейрук В. Н., Белов Г. Л., Деревягина М. К., Васильева С. В., Бухарова А. Р. Химическая защита картофеля от грибных болезней с учетом устойчивости сорта. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):389-398. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.389-398>

Поступила: 15.03.2023

Принята к публикации: 05.06.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Chemical protection of potatoes from fungal diseases, taking into account the stability of the variety

© 2023. Vladimir A. Barkov¹, Dmitry A. Belov¹, Vladimir N. Zeyruk², Grigory L. Belov² ✉, Marina K. Derevyagina², Svetlana V. Vasilyeva², Almira R. Bukharova³

¹JSC Firm "August", Moscow, Russian Federation,

²Russian Potato Research Centre, Moscow region, Lyubertsy, Kraskovo, Russian Federation,

³Russian State Agrarian Correspondence University, Moscow Region, Balashikha, Russian Federation

In the conditions of the Moscow region in 2019-2022 the effectiveness of fungicides of new chemical classes in the potato protection system against rhizoctoniosis, late blight and alternariosis was studied, taking into account the different resistance of varieties (Gulliver, Grant, Sante) to diseases. Potato tubers were treated with the preparation Idikum, SC before planting, its biological effectiveness in reducing the incidence of rhizoctoniosis in the full germination phase was 76.7-95.7 %. It was found that the effectiveness of the preparation depended on the degree of disease development, the stability of the variety and the phase of crop development. In addition, when etching the planting material with Idikum, SC, there was no population of rhizoctosis sclerotia and the spread of dry rot on tubers of the new yield significantly reduced (1.6-5.0 times) compared to the control. The proposed scheme of potato protection in conditions of epiphytotic development of late blight and early blight based on combined chemicals Metaxil, SP, Inside, SC with contact fungicides Raek, CE, Talent, SC, Tirada, SC showed high efficiency in reducing harmfulness of the diseases, which allowed to extend the growing season of plants, to ensure a higher yield of potatoes, its marketability and quality. The use of preparations provided an increase in yield by 36.3-47.5 %, depending on the prevailing weather conditions of the growing season and on the variety in relation to the control (without treatment). It has been established that the biological effectiveness of the protection scheme in reducing the degree of late blight and early blight increased from susceptible to relatively stable varieties and, accordingly, this trend continued with an increase in yield. Higher increases were obtained on unstable varieties Gulliver and Sante (10.6-13.5 t/ha, or 45.7-56.0 %), lower – on the relatively stable variety Grand (7.8 t/ha, or 36.0 %). The contribution of the application of the protection scheme to the overall variation of gross and marketable potato yields was 76.5-81.0 %, gene-type – 7.9-12.5 %, the interaction of these factors – 3.7-4.7 %.

Keywords: chemical preparations, rhizoctoniosis, late blight, early blight, prevalence, biological efficiency, yield, tuberous analysis

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 Russian Potato Research Centre (theme No. FNRZ-2019-0006).

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: Barkov V. A., Belov D. A., Zeyruk V. N., Belov G. L., Derevyagina M. K., Vasilyeva S. V., Bukharova A. R. Chemical protection of potatoes from fungal diseases, taking into account the stability of the variety. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):389-398. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.389-398>

Received: 15.03.2023

Accepted for publication: 05.06.2023

Published online: 28.06.2023

За последние годы изменилась роль отдельных видов организмов и их соотношение в агрофитоценозах. Возросла вредоносность многих широко распространенных болезней картофеля – фитофтороза, альтернариоза, ризоктониоза. Все больший ущерб стали причинять заболевания, ранее относившиеся к группе малораспространенных и лишь потенциально опасных: сухая, антракнозная, резиновая и другие гнили клубней [1].

Ризоктониоз (*Hypochnus solani* Prill. Et Delacr.) (несовершенная стадия гриба – *Rhizoctonia solani* J.G. Kuhn) – распространен практически во всех регионах возделывания картофеля и способен поражать картофель на всех этапах онтогенеза. В зависимости от погодных условий, ежегодные потери урожая картофеля от ризоктониоза достигают 10-40 %; эти показатели зависят от механического состава

почв, наличия инфекции в семенном материале, а также от сорта и уровня агротехники [2].

Фитофтороз, вызываемый оомицетом *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary, является наиболее значимым и одной из самых вредоносных и быстро распространяющихся болезней картофеля в мире. Ежегодные потери оцениваются примерно в 6,1 млрд евро [3].

Характерной особенностью альтернариоза является то, что в его патогенезе участвуют несколько видов грибов рода *Alternaria*: крупноспоровый вид *A. solani* s.l., мелкоспоровые – *A. alternata* (Fr.) Keissl, *A. arborescens*, *A. tenuissima* (Kunze) Wiltshire и комплекс видов *A. infectoria* [4]. Альтернариоз широко распространенное заболевание на территории России. Потери урожая от этого патогена могут достигать до 20,0-30,0 % [5].

Химический метод борьбы с болезнями на картофеле остаётся до настоящего времени наиболее эффективным и экономически выгодным при условии правильного выбора фунгицидов и методов их применения [6, 7]. Чаще всего используемой стратегией химической защиты является так называемая «рутинная схема», которая предполагает опрыскивание растений в строго фиксированные сроки, для того чтобы обеспечить постоянное наличие на ботве фунгицида до её предуборочного уничтожения. В соответствии с этой стратегией, обработки следует начинать до смыкания ботвы в рядах, повторные опрыскивания проводятся с учётом продолжительности фунгицидного действия применяемых препаратов (через 7-10 дней) [8].

Использование «рутинной схемы» надёжно защищает культуру от фитофтороза, но приводит к существенному увеличению числа обработок. По мнению А. В. Филиппова [9], эта стратегия химической защиты картофеля в большей мере оправдана только при эпифитотиях, а в сезоны с отсутствием или слабым развитием болезни она является убыточной. Кроме того, что дополнительные затраты на пестициды снижают рентабельность выращивания культуры, они также вызывают беспокойство потребителей картофеля, отдающих предпочтение экологически чистой продукции, и усиливают антропогенный прессинг на окружающую среду.

В сложившихся условиях крайне необходимы методы объективного научного обоснования новой стратегии химической защиты посадок картофеля, которая бы количественно определяла необходимый минимум применения пестицидов – по возможности меньше, чем при «рутинной схеме», но не приводила бы к снижению урожайности. Одним из таких способов является выбор схемы защиты культуры в зависимости от степени устойчивости сорта к болезням.

Цель исследований – изучить эффективность схемы защиты картофеля с использованием фунгицидов новых химических классов против основных болезней, вызванных грибами и грибоподобными организмами, с учетом степени устойчивости сортов.

Научная новизна – получены научные данные по эффективности применения схемы защиты картофеля на основе фунгицидов новых химических классов с учетом устойчивости сортов картофеля к основным болезням.

Материал и методы. Эффективность химических препаратов изучали в 2019-2022 гг. в условиях Московской области на базе

ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха». Исследования проводили на дерново-подзолистой супесчаной почве со следующей агрохимической характеристикой (средние показатели): pH_{KCl} 4,9; N_g – 3,3 мг-экв/100 г почвы; S – 3,1 мг-экв/100 г почвы; V – 48,4 %; содержание подвижного фосфора высокое – 368 мг/кг почвы, обменного калия среднее – 130 мг/кг почвы; гумусированность низкая – 1,9 %.

Сравнительное изучение схемы защиты картофеля проводили на различных сортах по устойчивости к изучаемым болезням:

Гулливёр – раннеспелый. Сорт устойчив к раку картофеля, картофельной нематоде, засухе. Слабо поражается паршой обыкновенной, ризоктониозом. Среднеустойчив к фитофторозу и альтернариозу. Урожайность 65-70 т/га.

Гранд – среднеспелый. Сорт устойчив к раку картофеля, картофельной нематоде, фитофторозу и механическим повреждениям. Слабо поражается паршой обыкновенной, ризоктониозом, кольцевой гнилью. Среднеустойчив к альтернариозу. Урожайность 45-55 т/га.

Сантэ – среднеранний. Сорт устойчив к раку картофеля, золотистой картофельной цистообразующей нематоде, вирусным болезням, восприимчив по ботве к фитофторозу. Среднеустойчив к обыкновенной парше, восприимчив к ризоктониозу и фомозу. Устойчивость к альтернариозу средняя. Урожайность 40-50 т/га.

Дата посадки – первая декада мая, дата уборки – третья декада августа.

Клубни картофеля перед посадкой обрабатывали препаратом Идикум, СК (133 г/л ипродион + 100 г/л имидаклоприд + 6,7 г/л дифеноконазола) в дозе 4,5 л/га от почвенной и клубневой инфекции (ризоктониоз, антракноз, фузариоз).

В полевых условиях обработку химическими препаратами начинали с периода «смыкание ботвы в рядках» контактно-системным препаратом Метаксил, СП. Последующие обработки проводили в зависимости от устойчивости сорта через 10-14 дней трансламинарным фунгицидом и 5-7 дней – контактными. Для снижения пораженности клубней картофеля болезнями за 14 дней до уборки урожая использовали десикант Суховой, ВР.

Вариант с изучаемой схемой защиты от альтернариоза и фитофтороза в период вегетации, включающий чередование комбинированных химических препаратов Метаксил, СП, Инсайд, СК с контактными фунгицидами Раек, КЭ, Талант, СК, Тирада, СК представлена в таблице 1. Контроль – вариант без обработок.

*Таблица 1 – Схема химической защиты посадок картофеля от альтернариоза и фитофтороза /
Table 1 – Scheme of chemical protection of potato plantings from early blight and late blight*

| <i>Название препарата / Name of the chemical preparation</i> | <i>Действующее вещество г/л, кг / Active substance g/l, kg</i> | <i>Норма расхода препарата (л, кг/га) / The rate of consumption of the chemical preparation (l, kg/ha)</i> | <i>Механизм действия / Mechanism of action</i> |
|--|---|--|---|
| Метаксил, СП + Полифем, Ж / Metaxyl, WP + Polypheme, L | 640 г/кг манкоцеб + 80 г/кг металаксил + органоимодифицированные силоксаны / 640 g/kg mankoceb + 80 g/kg metalaxyl + organomodified siloxanes | 2,5 + 0,1 | Контактно-системный / Contact-system |
| Инсайд, СК + Полифем, Ж / Inside, SC+ Polypheme, L | 200 г/л диметоморф + 200 г/л флузинам + органоимодифицированные силоксаны / 200 g/l dimethomorph + 200 g/l fluazines + organomodified siloxanes | 1,0 + 0,1 | Трансламинарный / Translaminar |
| Инсайд, СК + Раек, КЭ+Полифем, Ж / Inside, SC+ Raek, EC + Polypheme, L | 200 г/л диметоморф + 200 г/л флузинам + органоимодифицированные силоксаны / 200 g/l dimethomorph + 200 g/l fluazines + organomodified siloxanes | 1,0 + 0,1 | Трансламинарный + контактный / Translaminar + Contact |
| Тирада, СК + Полифем, Ж / Tirade, SC + Polypheme, L | 400 г/л тирам + 30 г/л дифеноконазол + органоимодифицированные силоксаны / 400 g/l tiram + 30 g/l diphenconazole + organomodified siloxanes | 3,5 + 0,1 | Контактный / Contact |
| Талант, СК + Полифем, Ж / Alent, SC+ Polypheme, L | 500 г/л хлороталонил + органоимодифицированные силоксаны / 500 g/l chlorothalonil + organomodified siloxanes | 2,5 + 0,1 | Контактный / Contact |
| Суховой, ВР + Адью, Ж / Suhovej, AS + Adieu, L | 150 г/л дикват + 900 г/л этоксилят изодецилового спирта / 150 g/l diquat + 900 g/l isodecyl alcohol ethoxylate | 2,5 + 0,2 | Контактный / Contact |

Площадь опытных делянок – 100 м², учетных – 50 м². Повторность в опыте – четырехкратная, размещение рендомизированное.

Учеты пораженности растений картофеля фитофторозом и альтернариозом проводили от даты проявления болезней до отмирания листьев через каждые 7-10 суток^{1, 2}. Зараженность клубней болезнями оценивали через 1,5 месяца после закладки на хранение³.

Дисперсионный анализ полученных данных проводили по Б. А. Доспехову⁴ с применением лицензионных математических программных пакетов Microsoft Excel и Agstat.

Результаты и их обсуждение. Период вегетации картофеля по гидротермическому коэффициенту характеризовался в 2019 г. как влажный (ГТК = 1,39), 2020 г. – очень влажный

(ГТК=2,1), 2021 г. – слабо засушливый (ГТК=1,1), 2022 г. – засушливый (ГТК = 0,95). Погодные условия в начале вегетации 2019 г. способствовали слабому развитию ризоктониоза (2,5-6,3 %), 2021-2022 гг. – среднему (6,5-16,4 %), 2020 г. – сильному (15,6-28,3 %) в зависимости от сорта.

Снижение пораженности подземных органов картофеля ризоктониозом под действием препарата Идикум, СК отчетливой всего проявлялось в период всходов. Так, в фазу «полные всходы» биологическая эффективность инсектофунгицида составила 76,7-95,7 %, а в период «бутонизация-начало цветения» – 55,9 %, что объясняется продолжительностью фунгицидного действия препарата и влиянием таких факторов, как клубневой и почвенный инокулюм (табл. 2).

¹Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле. М.: ФГБНУ ВНИИКХ, 2019. 120 с.

²Методика исследований по защите картофеля от болезней, вредителей, сорняков и иммунитета. М.: ВНИИКХ, 1995. 107 с.

³ГОСТ 33996-2016. Картофель семенной. Технические условия и методы определения качества. М.: Стандартинформ, 2020. 35 с. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/63695/>

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

Таблица 2 – Биологическая эффективность препарата Идикум, СК в зависимости от степени развития ризоктониоза в годы исследований и устойчивости сорта (фаза «полные всходы»), %

Table 2 – Biological effectiveness of Idikum, SC preparation, depending on the degree of development of rhizoctoniosis during the years of research and the stability of the variety (full germination phase), %

| <i>Сорт, устойчивость (Фактор В) / Variety, resistance (Factor B)</i> | <i>Препарат (Фактор С) / Preparation (Factor C)</i> | <i>Степень развития (Фактор А) / The degree of development (Factor A)</i> | | | <i>Биологическая эффективность / Biological efficiency</i> | | |
|---|---|---|-----------------------------|-----------------------------|--|-----------------------------|-----------------------------|
| | | <i>слабая / weak</i> | <i>средняя / medium</i> | <i>сильная / strong</i> | <i>слабая / weak</i> | <i>средняя / medium</i> | <i>сильная / strong</i> |
| Гулливёр, слабо- восприимчивый / Gulliver, weakly receptive | Контроль / Control | 5,3 | 13,6 | 25,6 | - | - | - |
| | Идикум, СК / Idikum, SC | 0,7 | 2,4 | 6,7 | 86,8 | 82,4 | 73,8 |
| Гранд, устойчивый / Grand, resistant | Контроль / Control | 2,5 | 6,5 | 15,6 | - | - | - |
| | Идикум, СК / Idikum, SC | 0,3 | 1,1 | 3,1 | 88,0 | 83,1 | 80,1 |
| Сантэ, восприимчивый / Sante, sensitive | Контроль / Control | 6,3 | 16,4 | 28,3 | - | - | - |
| | Идикум, СК / Idikum, SC | 1,0 | 3,5 | 7,3 | 84,1 | 78,6 | 74,2 |
| НСР ₀₅ по факторам / LSD ₀₅ by factors | Степень развития / The degree of development | 1,36 | | | 2,17 | | |
| | Сорт / Variety | 1,11 | | | 1,77 | | |
| | Препарат / Preparation | 0,78 | | | 1,25 | | |
| | Частных средних / Private medium | 1,87 | | | 3,13 | | |

Полученные данные согласуются с результатами исследований⁵, в которых отмечалось, что в начальный период развития картофеля (фаза «всходы») влияние обоих факторов на пораженность ростков составляет 16 % (передача через клубни) и 50 % (передача через почву). По мере развития растений доля влияния почвенного инокулюма возрастала до 87 %, тогда как влияние клубневого снижалось до 6 %.

Установлено, что в годы слабого развития заболевания (2019 г.) препарат показал более высокую биологическую эффективность (84,1-88,0 %), а в годы умеренного распространения ризоктониоза (2020 г.) – значительно ниже (73,8-80,1 %). Кроме того, биологическая эффективность применения протравителей на устойчивых сортах, таких как Гранд, выше (80,1-88,0 %), чем на восприимчивом – Сантэ (74,2-84,1 %). Распространение ризоктониоза определялось степенью развития болезни (вклад фактора – 34,1 %), эффективностью протравителя семенного материала (40,4 %), взаимодействием этих факторов (10,9 %).

Агроклиматические условия вегетационных периодов 2019 и 2020 гг. способствовали эпифитотийному развитию фитофтороза. На необработанных участках первые фитофторозные пятна появились во второй декаде июля, полное поражение ботвы отмечено во второй декаде августа (табл. 3).

Распространенность фитофтороза при последнем учете в контроле на относительно устойчивом сорте Гранд достигла 15,5 % при степени развития 3,9 %, на сортах Гулливер и Сантэ – 96,8-100,0 и 40,4-46,5 % соответственно. В подобных условиях применение химических фунгицидов обеспечило снижение распространенности и степени развития фитофтороза с первого до последнего учета.

Единичные пораженные растения фитофторозом отмечены лишь при втором учете, так как один из компонентов комбинированного препарата Метаксил, СП (металаксил) обладает антиспорирующим эффектом. Установлено, что биологическая эффективность схемы защиты увеличивалась от восприимчивого к фитофторозу сорта Сантэ к относительно устойчивому Гранд. При последнем учете биологическая эффективность на сорте Сантэ составила 87,7 %, сорте Гулливер – 81,9 % и сорте Гранд – 91,6 %.

Метеоусловия 2019-2020 гг. были неблагоприятными для развития альтернариоза на ботве картофеля, 2021 и 2022 гг. – способствовали распространению этой болезни. В годы эпифитотийного развития альтернариоза на сорте Гулливер к концу вегетации распространенность болезни составила 61,7 %, на сорте Гранд – 59,6 %. Наибольшее количество больных растений отмечено на сорте Сантэ – 84,5 % (табл. 4).

⁵Малюга А. А. Биологические основы защиты картофеля в лесостепи Западной Сибири от основных почвенно-клубневых инфекций: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. М., 2008. С. 12-13.

Таблица 3 – Влияние применения химических препаратов на распространение (P) и развитие (R) фитофтороза, % /

Table 3 – The effect of the use of chemicals on the spread (P) and development (R) of late blight, %

| Сорт, устойчивость (Фактор А) / Variety, resistance (Factor A) | Схема защиты (Фактор В) / Protection scheme (Factor B) | 1-й учет / 1st accounting | | 2-й учет / 2nd accounting | | 3-й учет / 3rd accounting | |
|--|--|------------------------------|-----|------------------------------|------|------------------------------|------|
| | | P | R | P | R | P | R |
| Гранд, устойчивый / Grand, resistant. | См. табл. 1 / See table 1 | 0 | 0 | 0,8 | 0,2 | 1,3 | 0,7 |
| | Контроль / Control | 12,8 | 1,8 | 14,9 | 2,7 | 15,5 | 3,9 |
| Гулливёр, среднеустой- чивый / Gulliver, medium-resistant | См. табл. 1 / See table 1 | 0,8 | 0,7 | 5,9 | 1,7 | 18,1 | 3,1 |
| | Контроль / Control | 17,0 | 3,9 | 93,6 | 26,7 | 100,0 | 40,4 |
| Сантэ, восприимчивый / Sante, sensitive | См. табл. 1 / See table 1 | 0,0 | 0,0 | 4,8 | 0,7 | 11,9 | 1,7 |
| | Контроль / Control | 27,4 | 6,2 | 54,0 | 14,0 | 96,8 | 46,5 |
| НСР ₀₅ по факторам / LSD ₀₅ by factors | Сорт / Variety | - | - | 1,47 | 0,53 | 1,47 | 1,21 |
| | Схема защиты / Protection scheme | - | - | 1,47 | 0,53 | 1,47 | 1,21 |
| | Частных средних / Private medium | - | - | 2,87 | 1,04 | 2,86 | 2,36 |

Таблица 4 – Влияние применения химических препаратов на распространение (P) и развитие (R) альтернариоза на растениях картофеля, %

Table 4 – The effect of the use of chemicals on the spread (P) and development (R) of early blight in potato plants, %

| Сорт, устойчивость (Фактор А) / Variety, resistance (Factor A) | Схема защиты (Фактор В) / Protection scheme (Factor B) | 1-й учет / 1st accounting | | 2-й учет / 2nd accounting | | 3-й учет / 3rd accounting | |
|--|--|------------------------------|-----|------------------------------|------|------------------------------|------|
| | | P | R | P | R | P | R |
| Гранд, устойчивый / Grand, resistant. | См. табл. 1 / See table 1 | 1,1 | 0,2 | 1,2 | 0,2 | 16,9 | 2,7 |
| | Контроль / Control | 16,6 | 3,3 | 37,2 | 12,3 | 59,6 | 25,0 |
| Гулливёр, среднеустой- чивый / Gulliver, medium-resistant | См. табл. 1 / See table 1 | 5,5 | 0,8 | 8,9 | 1,0 | 16,8 | 4,7 |
| | Контроль / Control | 14,3 | 3,0 | 36,2 | 12,0 | 61,7 | 26,1 |
| Сантэ, восприимчивый / Sante, sensitive | См. табл. 1 / See table 1 | 2,0 | 0,3 | 4,4 | 0,6 | 12,8 | 3,4 |
| | Контроль / Control | 21,5 | 3,8 | 36,7 | 7,8 | 84,5 | 34,2 |
| НСР ₀₅ по факторам / LSD ₀₅ by factors | Сорт / Variety | - | - | 1,23 | 0,68 | 1,67 | 0,99 |
| | Схема защиты / Protection scheme | - | - | 1,23 | 0,68 | 1,67 | 0,99 |
| | Частных средних / Private medium | - | - | 2,41 | 1,33 | 2,97 | 1,95 |

Использование препарата Раек, КЭ в баковой смеси с фунгицидом Инсайд, СК в третьей обработке и фунгицида Тирада, СК в четвертой позволило на всех сортах, по сравнению с контролем, снизить распространение и развитие болезни с первого до последнего учета. Распространение альтернариоза при применении препаратов на дату первого учета составило 1,1-5,5 % в зависимости от сорта, при ее развитии 0,2-0,8 %, что ниже контроля на 8,8-19,5 % соответственно. По мере развития болезни эффект применения препаратов усиливался. На дату последнего учета, распространение болезни относительно контроля (59,6-84,5 %) снизилось в 3,4-6,6 раза, а степень развития соответственно в 5,5-10,1 раза. При этом биоло-

гическая эффективность обработок увеличилась от более поражаемого сорта Сантэ (84,9 %) к менее поражаемому Гранд (71,6 %).

Учеты общей урожайности (табл. 5) показали, что самые высокие прибавки от изучаемой схемы защиты посадок картофеля от болезней получили на неустойчивых к фитофторозу сортах Сантэ и Гулливёр (10,6-13,5 т/га, или 45,7-56,0 % соответственно), на которых эффективность применения препаратов в отношении распространенности болезни была наиболее высокой. Самые низкие прибавки получены на относительно устойчивом сорте Гранд – 7,8 т/га. Количество товарного картофеля (>30 мм), полученного в вариантах с химической защитой, превышало этот показатель

в контроле на 51,1-87,8 %. Результаты математической обработки данных опыта показали, что вклад схемы защиты в общее варьирование

валовой и товарной урожайности картофеля составлял 76,54-81,02 %, генотипа – 7,88-12,48 %, взаимодействия этих факторов – 3,67-4,69 %.

Таблица 5 – Влияние схемы применения химических препаратов на урожайность сортов картофеля и фракционный состав клубней / Table 5 – The effect of the scheme of application of chemicals on the yield of potato varieties and the fractional composition of tubers

| Сорт (Фактор А) / Variety (Factor A) | Схема защиты (Фактор В) / Protection scheme (Factor B) | Урожайность / Yield | | | | Фракционный состав, % / Fractional composition, % | | |
|---|---|---------------------|---|---|---------------------------------------|--|------------------------|----------------------|
| | | всего / in total | | в т. ч. товарных клубней / including commercial tubers | | > 60 мм / > 60 mm | 30-60 мм / 30-60 mm | < 30 мм / < 30 mm |
| | | м/га / t/ha | ± % к кон- тролю / ± % to control | м/га / t/ha | ± % к контролю / ± % to control | | | |
| Гранд / Grand | См. табл. 1 / See table 1 | 29,5 | +36,0 | 27,2 | +51,1 | 70,3 | 21,8 | 7,9 |
| | Контроль / Control | 21,7 | - | 18,0 | - | 72,0 | 10,9 | 17,2 |
| Гулливёр / Gulliver | См. табл. 1 / See table 1 | 37,6 | +56,0 | 35,3 | +87,8 | 52,4 | 41,6 | 6,0 |
| | Контроль / Control | 24,1 | - | 18,8 | - | 60,1 | 17,8 | 22,1 |
| Сантэ / Sante | См. табл. 1 / See table 1 | 33,8 | +45,7 | 32,3 | +58,2 | 27,4 | 68,1 | 4,5 |
| | Контроль / Control | 23,2 | - | 20,4 | - | 11,9 | 77,1 | 11,0 |
| НСР ₀₅ по факторам / LSD ₀₅ by factors | Сорт / Variety | 1,74 | - | 1,96 | - | - | - | - |
| | Схема защиты / Protection scheme | 1,74 | - | 1,96 | - | - | - | - |
| | Частных средних / Private medium | 3,14 | - | 3,57 | - | - | - | - |

При проведении клубневого анализа в соответствии с ГОСТ 33996-2016⁶ отмечена тенденция снижения распространения заболеваний клубней при применении химических препаратов по отношению к контролю (рис.). Видовой состав патогенов, поражающих клубни, во многом зависел от применяемого протравителя и препарата в период вегетации. Отмечена зависимость поражения клубней картофеля нового урожая ризоктониозом от предпосадочной обработки и в меньшей степени от схемы применения препаратов в период вегетации. Пораженность клубней фитофторозом находилась в прямой зависимости от обработок в период вегетации. При применении химических препаратов не было клубней с поражением фитофторозом и ризоктониозом (в контроле 1,0 %).

Предпосадочная обработка клубней картофеля существенно снижала распространенность сухой гнили на клубнях нового урожая. В контрольном варианте было поражено в среднем 6,0-7,3 % клубней в зависимости от сорта, а при обработке препаратами – 1,2-4,7 % (НСР₀₅ = 0,53).

Прибавка урожайности здоровых клубней товарной фракции картофеля составила на

сорт Гулливер – 17,1 т/га, сорт Гранд – 9,7 т/га, сорт Сантэ – 13,6 т/га (НСР₀₅ = 1,77).

Для эффективной защиты клубней картофеля от почвенно-клубневых болезней необходимо использовать разные препараты, и их ассортимент, включающий в России всего 5 действующих веществ (флудиоксонил, тиабендазол, тетраметилтиурамдисульфид, карбендазим, пенцикурион), необходимо расширять [10].

Проведенные эксперименты показали, что препарат на основе дифеноконазола Идикум, СК может быть успешным дополнением списка разрешенных для обработки клубней фунгицидов. В работе И. А. Кутузовой и др. [11] действие дифеноконазола более эффективно в отношении штаммов паразитирующих на картофеле грибов: *Colletotrichum coccodes*, *Alternaria solani*, *Alternaria alternata*, *Fusarium solani*, *Rhizoctonia solani*, *Helminthosporium solani*. Устойчивых к дифеноконазолу штаммов вышеуказанных видов грибов не было обнаружено. В то же время фунгицид был слабо эффективен в отношении *Phytophthora infestans*.

⁶ГОСТ 33996-2016. URL: <https://internet-law.ru/gosts/gost/63695/>

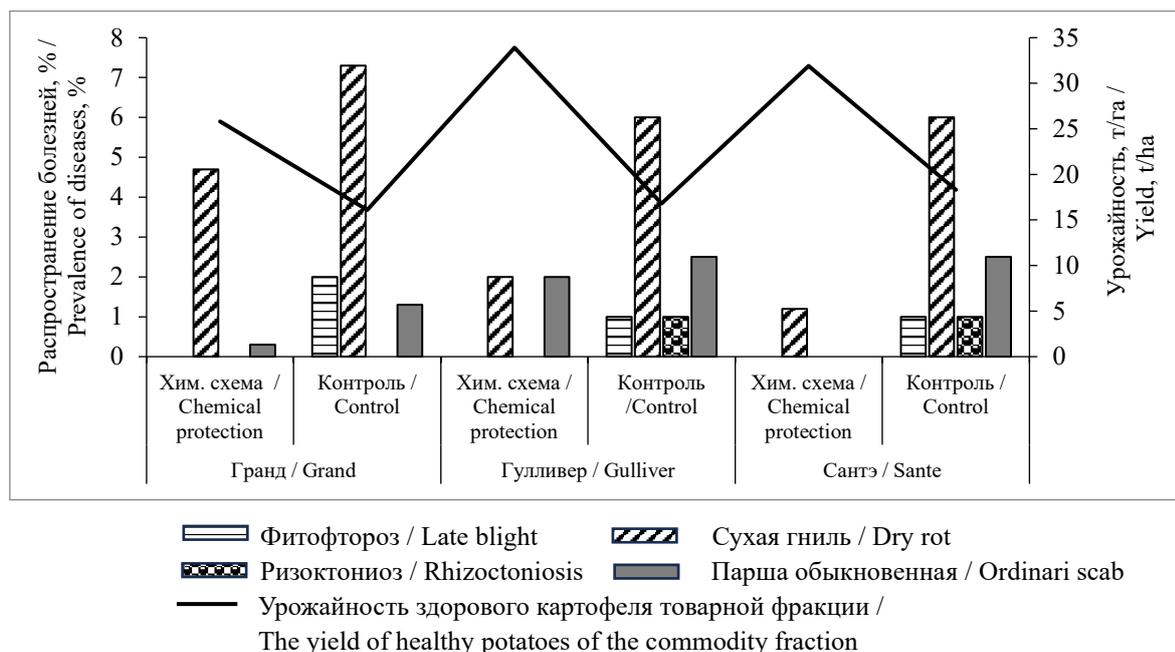


Рис. Влияние изучаемой схемы химической защиты картофеля на зараженность клубней болезнями /
Fig. The influence of the studied scheme of chemical protection of potatoes on the infection of tubers

Изучаемая схема защиты в период вегетации, включающая чередование комбинированных химических препаратов Метакил, СП, Инсайд, СК с контактными фунгицидами Раек, КЭ, Талант, СК, Тирада, СК показала высокую эффективность в борьбе с фитофторозом и альтернариозом. На восприимчивых сортах необходимо применять максимальные нормы фунгицидов и минимальный период ожидания, на относительно устойчивых сортах – наименьшие дозировки и наибольший интервал между сроками их использования. В последнем случае возможна замена химических препаратов биологическими [12, 13].

Выводы. 1. Использование протравителя Идикум, СК (4,5 л/га) для одновременного опрыскивания клубней и дна борозды позволило снизить распространенность ризиктониоза на 80,1-87,3 %. Биологическая эффективность препарата зависела от устойчивости сорта картофеля и погодных условий вегетационного периода. Действенность препаратов была выше в годы слабого развития болезни и на более устойчивых сортах.

2. На всех изученных сортах применение препаратов в период вегетации способствовало снижению распространения и степени развития альтернариоза и фитофтороза и соответственно увеличению урожайности и его качества по сравнению с контролем. Биологическая эффективность в борьбе с фитофторозом составила

81,9-91,6 %, альтернариозом – 81,9-90,1 %. В зависимости от сложившихся погодных условий вегетационного периода и сорта изученная нами схема химической защиты картофеля обеспечила прибавку урожая на 36,3-47,5 %. При использовании химических препаратов в новом урожае не было клубней, пораженных фитофторозом, ризиктониозом (в контроле 1,0 %), в 1,6-5,0 раз меньше клубней с сухой гнилью.

3. В качестве рекомендаций по использованию изучаемой схемы защиты посадок картофеля от болезней можно рекомендовать следующее. Первую химическую обработку проводить в период «смыкания ботвы в рядах» системно-контактным препаратом Метакил, СП. При последующих обработках выбор фунгицида зависит от устойчивости сорта и погодных условий: на восприимчивых сортах и при прогнозе эпифитотийного развития болезней необходимо применять максимальные нормы фунгицидов и минимальный период ожидания, на относительно устойчивых сортах – наименьшие дозировки и наибольший интервал между сроками их использования. Рациональнее чередовать фунгициды, отличающиеся действующими веществами и принципом действия – трансламинарные (Инсайд, КС) и контактные фунгициды (Тирада, СК, Талант, СК). При угрозе альтернариоза дополнительно применять фунгицид Раек, КЭ.

Список литературы

1. Campos H., Ortiz O. The Potato Crop. Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. Springer, Cham. 2020. 518 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5>
2. Yarmeeva M. M., Kokaeva L. Yu., Chudinova E. M., Kah M. O., Kurchaev M. L., Zeyruk V. N., Belov G. L., Bairambekov Sh. B., Elansky S. N. Anastomosis groups and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* strains isolated from potato in Russia. Journal of Plant Diseases and Protection. 2021;128:1253-1261. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00490-7>
3. Haverkort A. J., Struik P. C., Visser R. G. F., Jacobsen E. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. Potato Research. 2009;52(3):249-264. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9136-3>
4. Elansky S. N., Pobedinskaya M. A., Kokaeva L. Yu., Statsyuk N. V., Alexandrova A. V. Molecular identification of the species composition of Russian isolates of pathogens, causing early blight of potato and tomato. PPO-Special Report. 2012;(15):151-156.
5. Орина А. С., Ганнибал Ф. Б., Левитин М. М. Видовое разнообразие, биологические особенности и география грибов рода *Alternaria*, ассоциированных с растениями семейства *Solanaceae*. Микология и фитопатология. 2010;44(2):150-159.
6. Денисенков И. А. Эффективная защита картофеля от болезней различной этиологии в условиях Брянской области. Достижения науки и техники АПК. 2018;32(3):76-78. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10315> EDN: YWEOCL
7. Долженко В. И., Голубев А. С., Долженко О. В., Герасимова А. В. Ассортимент пестицидов для защиты картофеля. Картофель и овощи. 2014;(2):22-25.
8. Кузнецова М. А., Рогожин А. Н., Демидова В. Н., Сметанина Т. И. Эффективная защита картофеля от болезней различной этиологии в условиях Московской области. Аграрная наука. 2019;S3:49-53. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-49-53> EDN: HTDWJM
9. Филиппов А. В. Фитофтороз картофеля. Защита и карантин растений. 2012;(5):61-88.
10. Попов Ю. В., Савушкин С. Н., Бухонова Ю. В., Шебалин Е. Н. Припосадочная обработка клубней картофеля. Защита и карантин растений. 2013;(5):42-45. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18967131> EDN: PZBWMJ
11. Кутузова И. А., Побединская М. А., Кокаева Л. Ю., Еланский С. Н. Устойчивость штаммов *Helminthosporium solani* к некоторым фунгицидам, применяемым для обработки клубней картофеля. Защита картофеля. 2016;(2):18-23. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27808696> EDN: XKNZGH
12. Попов Ю. В., Рукин В. Ф. Совместное применение биопрепаратов, регуляторов роста и пестицидов для защиты картофеля. Защита и карантин растений. 2016;(5):18-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25958556> EDN: VWBIHZ
13. Деревягина М. К., Васильева С. В., Зейрук В. Н., Белов Г. Л. Биологическая и химическая защита картофеля от болезней. Агрехимический вестник. 2018;(5):65-68. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36160904> EDN: YJBFZ

References

1. Campos H., Ortiz O. The Potato Crop. Its Agricultural, Nutritional and Social Contribution to Humankind. Springer, Cham. 2020. 518 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-28683-5>
2. Yarmeeva M. M., Kokaeva L. Yu., Chudinova E. M., Kah M. O., Kurchaev M. L., Zeyruk V. N., Belov G. L., Bairambekov Sh. B., Elansky S. N. Anastomosis groups and sensitivity to fungicides of *Rhizoctonia solani* strains isolated from potato in Russia. Journal of Plant Diseases and Protection. 2021;128:1253-1261. DOI: <https://doi.org/10.1007/s41348-021-00490-7>
3. Haverkort A. J., Struik P. C., Visser R. G. F., Jacobsen E. Applied biotechnology to combat late blight in potato caused by *Phytophthora infestans*. Potato Research. 2009;52(3):249-264. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11540-009-9136-3>
4. Elansky S. N., Pobedinskaya M. A., Kokaeva L. Yu., Statsyuk N. V., Alexandrova A. V. Molecular identification of the species composition of Russian isolates of pathogens, causing early blight of potato and tomato. PPO-Special Report. 2012;(15):151-156.
5. Orina A. S., Gannibal F. B., Levitin M. M. Specific diversity, biological characters and geography of *Alternaria* fungi associated with *Solanaceous* plants. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2010;44(2):150-159. (In Russ.).
6. Denisenkov I. A. Efficient protection of potato from diseases of various etiology under conditions of Bryansk region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2018;32(3):76-78. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-10315>
7. Dolzhenko V. I., Golubev A. S., Dolzhenko O. V., Gerasimova A. V. Range of pesticides for the protection of potatoes. *Kartofel' i ovoshchi*. 2014;(2):22-25. (In Russ.).
8. Kuznetsova M. A., Rogozhin A. N., Demidova V. N., Smetanina T. I. Efficient protection of potato from diseases of various etiology under conditions of the Mosrow region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2019;S3:49-53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-3-49-53>
9. Filippov A. V. Potato late blight. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2012;(5):61-88. (In Russ.).
10. Popov Yu. V., Savushkin S. N., Bukhonova Yu. V., Shebalin E. N. Pre-planting treatment of potato tubers. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2013;(5):42-45. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=18967131>
11. Kutuzova I. A., Pobedinskaya M. A., Kokaeva L. Yu., Elanskiy S. N. Resistance of *Helminthosporium solani* strains to fungicides used for a potato tubers treatment. *Zashchita kartofelya*. 2016;(2):18-23. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27808696>

12. Popov Yu. V., Rukin V. F. Combined use of biopreparations, growth regulators and pesticides for potato protection. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2016;(5):18-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25958556>

13. Derevyagina M. K., Vasileva S. V., Zeyruk V. N., Belov G. L. Biological and chemical protection of potato from diseases. *Agrokhimicheskiiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2018;(5):65-68. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36160904>

Сведения об авторах

Барков Владимир Анатольевич, специалист отдела развития продуктов, АО Фирма «Август», ул. Цандера, д. 6, г. Москва, Российская Федерация, 129515, e-mail: corporate@avgust.com

Белов Дмитрий Александрович, начальник отдела развития продуктов, АО Фирма «Август», ул. Цандера, д. 6, г. Москва, Российская Федерация, 129515, e-mail: corporate@avgust.com

Зейрук Владимир Николаевич, доктор с.-х. наук, зав. лабораторией защиты, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д. п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9930-4463>

✉ **Белов Григорий Леонидович**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории защиты, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д.п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3002-8173>, e-mail: belov.grischa2015@yandex.ru

Деревягина Марина Константиновна, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д.п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3179-4723>

Васильева Светлана Викторовна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории защиты, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр картофеля имени А. Г. Лорха», ул. Лорха, д. 23 литер В, д.п. Красково, г. Люберцы, Московская область, Российская Федерация, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9930-4463>

Бухарова Альмира Рахметовна, доктор с.-х. наук, профессор, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный заочный университет», ул. Шоссе Энтузиастов, д. 50, г. Балашиха, Московская область, Российская Федерация, 143907, e-mail: mail@rgazu.ru

Information about the authors

Vladimir A. Barkov, expert of the Department of Product Development, JSC Firm "August", 6 Tsander str., Moscow, Russian Federation, 129515, e-mail: corporate@avgust.com

Dmitry A. Belov, Head of the Department of Product Development, JSC Firm "August", 6 Tsander str., Moscow, Russian Federation, 129515, e-mail: corporate@avgust.com

Vladimir N. Zeyruk, DSc in Agricultural Science, Head of the Laboratory of Protection, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9930-4463>

✉ **Grigory L. Belov**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Protection, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3002-8173>, e-mail: belov.grischa2015@yandex.ru

Marina K. Derevyagina, PhD in Biological Science, leading researcher, the Laboratory of Protection, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3179-4723>

Svetlana V. Vasilyeva, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Protection, Russian Potato Research Centre, st. Lorkh, 23 B, Kraskovo, Lyubertsy, Moscow region, Russian Federation, 140051, e-mail: coordinazia@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9930-4463>

Almira R. Bukharova, DSc in Agricultural Science, professor, Russian State Agrarian Correspondence University, Highway Enthusiasts str., 50, Balashikha, Moscow region, Russian Federation, 143907, e-mail: mail@rgazu.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408>

УДК 633.14:631.82:631.815

Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье© 2023. Д. Г. Шишков^{1,2} ✉, В. Р. Олехов¹, М. Т. Васбиева²¹ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», г. Пермь, Российская Федерация,²Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация

Озимая рожь является важной культурой Нечерноземной зоны России, продуктивность которой зависит от применения удобрений. В работе представлены данные об агрономической и экономической эффективности возделывания озимой ржи сорта Фалёнская 4 в условиях длительного применения минеральных удобрений. Исследования проводили в 2019-2021 гг. в Пермском крае на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве в длительном стационарном опыте, заложенном по сокращённой факториальной схеме (6х6х6) с широким диапазоном доз и соотношений NPK. В условиях 2019 года высокая урожайность получена в варианте N₃₀P₁₂₀K₁₂₀ (3,07 т/га), наибольшая окупаемость минеральных удобрений зерном – в вариантах N₉₀ и N₃₀P₃₀K₃₀ (6,09 и 5,69 кг зерна). В условиях 2021 года наибольшая урожайность и окупаемость зерном получены в варианте N₉₀ – 3,01 т/га и 13,96 кг зерна, в среднем за два года – 2,95 т/га и 9,82 кг зерна соответственно. Регрессионным уравнением в среднем за 2 года доказана эффективность азотных удобрений, фосфорные и калийные не оказали достоверного эффекта. Увеличение прибавки урожайности происходило до дозы азота 90 кг/га, при N₉₀ составило 0,42 т/га. Самая высокая окупаемость зерном получена при внесении дозы N₃₀ (7,3 кг зерна, с каждым увеличением доз на 30 кг/га данный показатель линейно снижался на 1,3 кг). Предельная рентабельность по годам исследований получена в варианте без применения удобрений – в среднем за два года она составила 60 %. В 2021 г. при применении N₉₀ рентабельность составила 50 %, в контроле – 43 %. Среди изучаемых доз азота, применяемого в чистом виде, все обеспечивали положительную рентабельность, однако наиболее экономически эффективным, не учитывая возделывание без применения удобрений, являлось использование доз N₃₀ и N₆₀ – рентабельность составила 52 и 45 % соответственно.

Ключевые слова: *Secale cereale L.*, факториальный опыт, экономическая эффективность минеральных удобрений, окупаемость удобрений зерном

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук (тема № АААА-А19-119032190059-8).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Шишков Д. Г., Олехов В. Р., Васбиева М. Т. Влияние различных доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность озимой ржи в Среднем Предуралье. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):399-408. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408>

Поступила: 30.03.2023

Принята к публикации: 23.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on the yield of winter rye in the Urals© 2023. Danil G. Shishkov^{1,2} ✉, Vladimir R. Olekhov¹, Marina T. Vasbieva²¹Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, Perm, Russian Federation,²Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm Region, Russian Federation

Winter rye is an important crop of the Non-Chernozem belt of Russia, the productivity of which depends on the use of fertilizers. The paper presents data on the agronomic and economic efficiency of cultivating Falenskaya 4 winter rye under conditions of long-term use of mineral fertilizers. The studies were carried out in 2019-2021 in Perm Region on sod-podzolic heavy loamy soil in a long-term stationary experiment based on a reduced factorial design (6x6x6) with a wide range of doses and NPK ratios. The highest yield in 2019 was obtained in N₃₀P₁₂₀K₁₂₀ variant (3.07 t/ha), the highest payback of mineral

fertilizers by grain was noted in N_{90} and $N_{30}P_{30}K_{30}$ variants (6.00 and 5.69 kg of grain). The highest yield and payback of grain in the conditions of 2021 and for two years of research in average was obtained in the variant N_{90} : in 2021, 3.01 t/ha and 13.96 kg of grain, for 2 years average – 2.95 t/ha and 9.82 kg of grain. The efficiency of nitrogen fertilizers has been proved by a regression equation for two years average, phosphoric and potash fertilizers did not have a significant effect. The rise in the yield increase occurred up to a nitrogen dose of 90 kg/ha and amounted to 0.42 t/ha at N_{90} . The highest payback by grain was noted among nitrogen treatments – by N_{30} (7.3 kg of grain), with each increase in doses by 30 kg/ha, this indicator decreased linearly by 1.3 kg. The highest profitability over the years of research was obtained in the variant without fertilizers – 60 %, over two years in average. The profitability of using N_{90} was higher compared with the control only in 2021 – 50 % versus 43 %. All the studied doses of nitrogen used separately provided positive profitability, but the most cost-effective was the use of N_{30} and N_{60} – profitability was 52 and 45 %, respectively.

Keywords: *Secale cereale L.*, factorial experiment, economic efficiency of mineral fertilizers, payback of fertilizers by grain

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences (theme No. AAAA-A19-119032190059-8).

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: Shishkov D. G., Olekhov V. R., Vashieva M. T. The influence of different doses and ratios of mineral fertilizers on the yield of winter rye in the Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):399-408. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.399-408>

Received: 30.03.2023

Accepted for publication: 23.05.2023

Published online: 28.06.2023

Озимая рожь – ценная зерновая культура, наиболее полноценно среди озимых зерновых реализующая потенциал своей продуктивности в Нечернозёмной зоне. Происходит это за счёт устойчивости к почвенной кислотности, высокой зимостойкости, а также отзывчивости на применение удобрений за счёт продолжительного периода потребления питательных веществ [1, 2, 3, 4].

На низкоплодородных дерново-подзолистых почвах научно обоснованное внесение удобрений является одним из основных методов повышения урожайности зерновых культур и сохранения плодородия почвы [5, 6, 7]. Чаще всего наибольший эффект в увеличении урожайности принадлежит применению полного минерального удобрения и азотной подкормки [1, 4, 8, 9]. Однако многие авторы указывают на то, что эффективность действия удобрений зависит от условий произрастания, а именно – агрохимического состояния почвы и погодных условий периода вегетации [10, 11, 12]. По данным М. А. Фесенко с соавт. [13], гидротермические условия вегетации могут определять до 59 % урожайности озимой ржи, притом что уровень питания – только до 21 %. Также стоит отметить, что наибольшая окупаемость применения удобрений чаще всего происходит за счёт использования азотных удобрений [7, 14].

Важным вопросом остаётся влияние повышенных доз минеральных удобрений на урожайность озимой ржи. Ряд исследований указывает на то, что эффективность повышенных доз проявляется нелинейно [2, 15]. В Кировской

области по результатам опыта с длительным применением удобрений установлено, наибольшая прибавка получена при внесении полного минерального удобрения в дозе 150 кг/га д. в., но окупаемость 1 кг д. в. удобрений зерном и уровень рентабельности производства были выше при внесении NPK в дозе 30 кг/га д. в. [16].

Цель исследований – изучить действие различных доз и соотношений элементов питания на фоне длительного применения минеральных удобрений на урожайность озимой ржи сорта Фалёнская 4 и оценить их экономическую эффективность.

Научная новизна – установлена урожайность и экономическая эффективность возделывания озимой ржи на фоне длительного применения минеральных удобрений при использовании широкого диапазона доз и соотношений элементов питания на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Среднего Предуралья.

Материал и методы. Исследования проводили в длительном стационарном опыте «Изучение влияния доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность полевых культур», заложенном в 1978 году на базе Пермского НИИСХ – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН. Исследования проводили в 2018-2019 гг. и 2020-2021 гг.

Схема опыта состоит из 24 вариантов, представляет собой сокращённую схему 1/9 полного факториального эксперимента (6х6х6) и предусматривает изучение 6 градаций доз

азотных (N), фосфорных (P) и калийных (K) удобрений – от 0 до 5 в условных обозначениях количества единичных доз (30 кг/га д. в.). Повторность вариантов в опыте двукратная, расположение делянок рендомизированное, общая площадь делянки составляет 120 м², учётная площадь – 76,4 м².

Исследования в опыте проводятся в полевом парозернопропашном севообороте со следующим чередованием культур: чистый пар – озимая рожь – картофель – яровая пшеница с подсевом клевера – клевер 1 г. п. – клевер 2 г. п. – ячмень – овёс. На момент проведения исследований началась 6 ротация севооборота. Удобрения, согласно схеме, вносили под все культуры севооборота, кроме клевера.

На момент закладки опыта (1978 и 1980 гг.) почва имела следующие характеристики: содержание гумуса 2,12 %, рН_{KCl} 5,6, подвижных соединений фосфора и калия по Кирсанову 175 и 203 мг/кг соответственно. К началу 6-ой ротации агрохимические показатели пахотного слоя в целом по опыту изменились: произошло подкисление среды почвенного раствора (рН_{KCl} = 5,1), обеспеченность подвижными соединениями фосфора увеличилась до 224 мг/кг, калия не изменилось (200 мг/кг), содержание гумуса уменьшилось незначительно до 2,07 %. По отдельным вариантам опыта изменение агрохимических показателей почвы соответствовало используемым удобрениям.

Азотные удобрения под озимую рожь вносили согласно схеме опыта в два приёма: половина дозы под предпосевную культивацию, вторая половина – при подкормке под весеннее боронование (доза подкормки была различна для вариантов). Фосфорные и калийные удобрения вносили полностью под предпосевную культивацию. Посев осуществляли 31.08.2018 и 29.08.2020 (норма высева 6 млн всхожих семян на гектар), учёт урожайности – 24.08.2019 и 20.07.2021.

Для статистической обработки экспериментальных данных использовали регрессионный анализ методом наименьших квадратов по В. Н. Перегудову¹, проведённый с помощью Microsoft Excel. Точность построенных уравнений оценивали коэффициентом корреляции между фактическими данными, полученными в поле и рассчитанными по уравнению.

Гидротермические условия вегетационных периодов, оцененные по гидротермическому коэффициенту (ГТК), представлены на рисунке 1. Основной особенностью вегетационного периода 2018-2019 гг. является обильное количество осадков с 3 декады июня до уборки, из-за чего во многих вариантах опыта наблюдалось полегание растений. Вегетационный период 2020-2021 гг. отличался сильно засушливыми условиями в 1-2 декады мая во время весеннего кушения, большим количеством осадков ливневого характера в 1 и 3 декады июля.

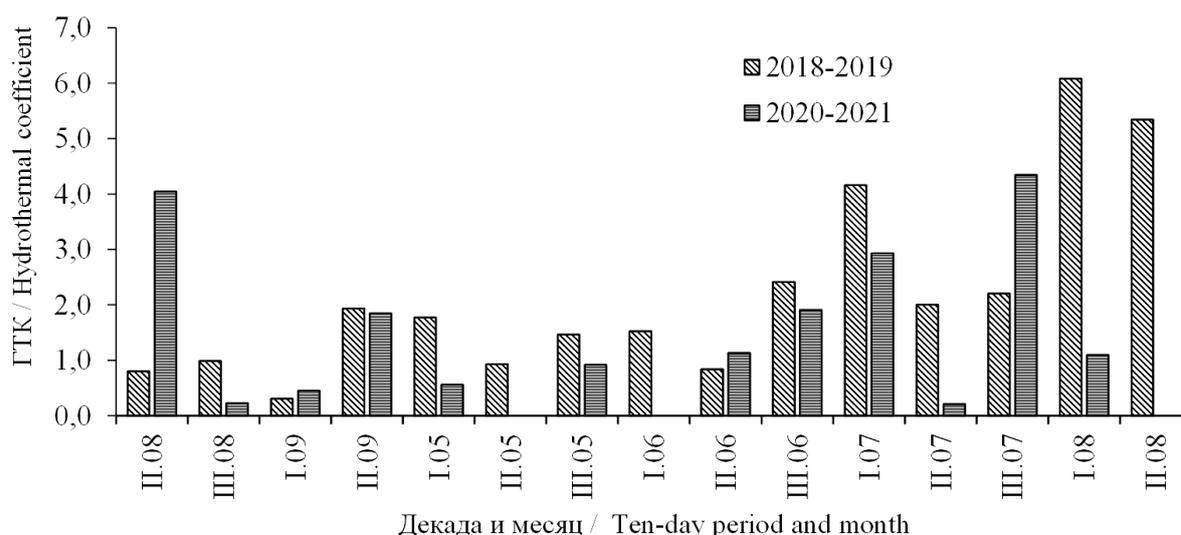


Рис. 1. ГТК вегетационного периода 2018-2019 гг. и 2020-2021 гг. /

Fig. 1. Hydrothermal coefficients of the vegetation periods of 2018-2019 and 2020-2021

¹Перегудов В. Н. Планирование многофакторных полевых опытов с удобрениями и математическая обработка их результатов. М.: Колос, 1978. 183 с.

Результаты и их обсуждение. Внесение минеральных удобрений оказало влияние на урожайность озимой ржи сорта Фалёнская 4, которое по годам исследований было различным (табл. 1). В условиях 2019 года, когда уборка культуры проходила в условиях повышенного количества осадков, наибольшая величина урожайности получена в варианте $N_{30}P_{120}K_{120}$, относительно высокая – в вариантах $N_{30}P_{30}K_{30}$ и N_{90} . Наименьшая урожайность отмечена при применении полного минерального удобрения $N_{150}P_{150}K_{150}$, на 0,13 т/га ниже, чем в варианте без внесения удобрений. Урожайность меньше контроля получена в

вариантах $N_{90}P_{90}$ и $N_{90}P_{90}K_{90}$, на уровне контроля – при внесении $N_{120}P_{120}K_{120}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$. Таким образом, в гидротермических условиях 2019 года среди полных доз минерального удобрения наибольшая эффективность отмечена при использовании минимальной дозы НРК по 30 кг д. в./га, повышение дозы вело к снижению эффективности. Агрономическая окупаемость применения 1 кг д. в. удобрений прибавкой зерна изменялась в относительно узком диапазоне от 0 до 3 кг в большинстве вариантов, наибольшая окупаемость отмечена в вариантах с применением N_{90} и $N_{30}P_{30}K_{30}$ (5,69 и 6,09 кг соответственно).

Таблица 1 – Урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4 и окупаемость минеральных удобрений зерном / Table 1 – The yield of Falenskaya 4 winter rye and the payback of mineral fertilizers with grain

| Вариант / Variant | 2019 г. | | 2021 г. | | Среднее за 2 года / Average for 2 years | |
|----------------------------------|---------|------|---------|-------|---|------|
| | У* | О | У | О | У | О |
| $N_0P_0K_0$ (контроль / control) | 2,37 | - | 1,75 | - | 2,06 | - |
| K_{90} | 2,56 | 2,10 | 1,85 | 1,06 | 2,21 | 1,58 |
| P_{90} | 2,68 | 3,38 | 1,69 | - | 2,19 | 1,35 |
| $P_{90}K_{90}$ | 2,56 | 1,03 | 1,75 | - | 2,15 | 0,49 |
| N_{90} | 2,88 | 5,69 | 3,01 | 13,96 | 2,95 | 9,82 |
| $N_{90}K_{90}$ | 2,81 | 2,45 | 2,73 | 5,44 | 2,77 | 3,95 |
| $N_{90}P_{90}$ | 2,34 | - | 2,18 | 2,36 | 2,26 | 1,09 |
| $N_{90}P_{90}K_{90}$ | 2,29 | - | 2,30 | 2,02 | 2,29 | 0,85 |
| $N_{30}P_{30}K_{30}$ | 2,92 | 6,09 | 2,05 | 3,28 | 2,48 | 4,68 |
| $N_{30}P_{30}K_{120}$ | 2,84 | 2,61 | 2,06 | 1,70 | 2,45 | 2,15 |
| $N_{30}P_{120}K_{30}$ | 2,81 | 2,42 | 2,04 | 1,59 | 2,42 | 2,01 |
| $N_{30}P_{120}K_{120}$ | 3,07 | 2,57 | 2,09 | 1,25 | 2,58 | 1,91 |
| $N_{120}P_{30}K_{30}$ | 2,83 | 2,55 | 2,20 | 2,50 | 2,52 | 2,52 |
| $N_{120}P_{30}K_{120}$ | 2,53 | 0,57 | 2,02 | 0,98 | 2,27 | 0,78 |
| $N_{120}P_{120}K_{30}$ | 2,42 | 0,18 | 2,91 | 4,27 | 2,66 | 2,23 |
| $N_{120}P_{120}K_{120}$ | 2,39 | 0,05 | 2,66 | 2,50 | 2,52 | 1,28 |
| $N_{60}P_{60}K_{60}$ | 2,42 | 0,27 | 2,39 | 3,54 | 2,41 | 1,91 |
| $N_{60}P_{60}K_{150}$ | 2,63 | 0,97 | 2,21 | 1,69 | 2,42 | 1,33 |
| $N_{60}P_{150}K_{60}$ | 2,79 | 1,55 | 2,17 | 1,53 | 2,48 | 1,54 |
| $N_{60}P_{150}K_{150}$ | 2,81 | 1,21 | 2,20 | 1,24 | 2,50 | 1,22 |
| $N_{150}P_{60}K_{60}$ | 2,55 | 0,66 | 2,04 | 1,05 | 2,29 | 0,85 |
| $N_{150}P_{60}K_{150}$ | 2,72 | 0,97 | 2,22 | 1,29 | 2,47 | 1,13 |
| $N_{150}P_{150}K_{60}$ | 2,53 | 0,43 | 2,26 | 1,40 | 2,39 | 0,92 |
| $N_{150}P_{150}K_{150}$ | 2,24 | - | 2,32 | 1,26 | 2,28 | 0,48 |

*У – урожайность, т/га, О – окупаемость 1 кг д. в. зерном, кг /

*U – Yield, t/ha, O – payback of 1 kg of active ingredient by grain, kg

В условиях вегетационного периода 2021 года, для которого были характерны засушливые погодные условия, фазы развития культуры проходили быстрее, из-за чего уборка прошла раньше среднесезонных сроков. Если для 2019 года между максимальной урожайностью и в контроле наблюдали разрыв 0,70 т/га, то в 2021 году он увеличился до 1,26 т/га, что свидетельствует о серьёзном влиянии на урожайность погодных условий. Применение почти всех исследуемых доз минеральных удобрений приводило к увеличению урожайности относительно контроля, за исключением вариантов с внесением одних фосфорных и сочетания фосфорных с калийными удобрениями в дозе 90 кг/га д. в. Высокая урожайность отмечена в вариантах с применением одних азотных удобрений в дозе 90 кг/га д. в. и $N_{120}P_{120}K_{30}$, наименьшая – в вариантах без применения удобрений, P_{90} и $P_{90}K_{90}$. Окупаемость применения 1 кг д. в. удобрений прибавкой зерна в условиях 2021 года была выше и изменялась по вариантам опыта от 0,98 кг ($N_{120}P_{30}K_{120}$) до 13,96 кг (N_{90}).

В среднем за 2 года исследований выделился вариант N_{90} , в котором получили наибольшую урожайность и окупаемость применения 1 кг д. в. удобрений зерном (2,95 т/га и 9,82 кг соответственно). Низкую урожайность получили при возделывании озимой ржи без применения удобрений, наименьшую окупаемость – в вариантах $P_{90}K_{90}$ и $N_{150}P_{150}K_{150}$.

С использованием метода наименьших квадратов были получены следующие уравнения регрессии, описывающие эффекты от применения азотных и фосфорных удобрений (формулы 1-3).

Математически доказуемого влияния калийных удобрений на урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4 за годы исследований не выявлено.

$$Y_{2019} = 2,58 + 0,1 \times N - 0,07 \times P + 0,04 \times P^2 - 0,05 \times NP; \quad (1)$$

$$Y_{2021} = 1,72 + 0,45 \times N - 0,07 \times N^2; \quad (2)$$

$$Y_{2019-2021} = 2,18 + 0,26 \times N - 0,04 \times N^2, \quad (3)$$

где Y_{2019} , Y_{2021} , $Y_{2019-2021}$ – урожайность зерна озимой ржи в 2019, 2021 годах, в среднем за 2019-2021 гг.; N , P , NP – дозы азотных и фосфорных удобрений, их сочетаний в кодированном виде (количество единичных доз); 2,58; 1,72; 2,18 – урожайность в контроле теоретическая; 0,1...0,04 – коэффициенты регрессии, характеризующие действие удобрений.

В условиях 2019 года достоверный эффект на урожайность оказывали азотные и фосфорные удобрения как отдельно, так и при совместном применении, однако влияние их зависело от доз. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными данными составил 0,71 ($p \leq 0,05$). В 2021 году доказана эффективность азотных удобрений, действие которых также зависело от доз. Коэффициент корреляции между фактическими и расчётными данными составил 0,75 ($p \leq 0,05$). В целом за два года исследований математически доказуемый эффект оказывали только азотные удобрения, однако стоит отметить, что коэффициент корреляции между фактическими и расчётными данными получили относительно низким ($r = 0,64$), что может свидетельствовать о том, что в каждый из этих лет исследований другие факторы оказывали разнонаправленное математически недоказуемое влияние. К этим факторам могут относиться как погодные условия (обильные осадки 2019 г. и засуха 2021 г.), так и действие фосфорных и калийных удобрений и их сочетание. Также следует отметить, что доказанная эффективность только азотных удобрений может являться следствием того, что за 5 ротаций севооборота запасы фосфора и калия в почве достигли высокого уровня, достаточного для роста и развития зерновых культур.

На рисунке 2 представлена визуализация полученных уравнений. Стоит отметить, что при выборе для построения графика по уравнению 2019 года как вариантов с дозами азотных удобрений без применения фосфорных, так и вариантов с дозами фосфорных без применения азотных урожайность возрастала линейно, что противоречило фактической динамике. Из чего был сделан вывод, что основное влияние на урожайность оказывали именно сочетания азотно-фосфорных удобрений. Полученное уравнение нивелировало действие дозы 30 кг/га д. в. и показало сохранение прибавки урожайности от дозы 60 кг/га д. в. относительно контроля и снижение урожайности при применении дозы 90 кг/га д. в. и выше. В 2021 г. доказуемый эффект оказали только азотные удобрения, эффективность которых снижалась после дозы 90 кг/га д. в., но в отличие от 2019 г. снижение не происходило до уровня контрольного варианта и ниже. В среднем за два года получили закономерность, аналогичную той, что наблюдали в 2021 г., но с более высоким уровнем урожайности.

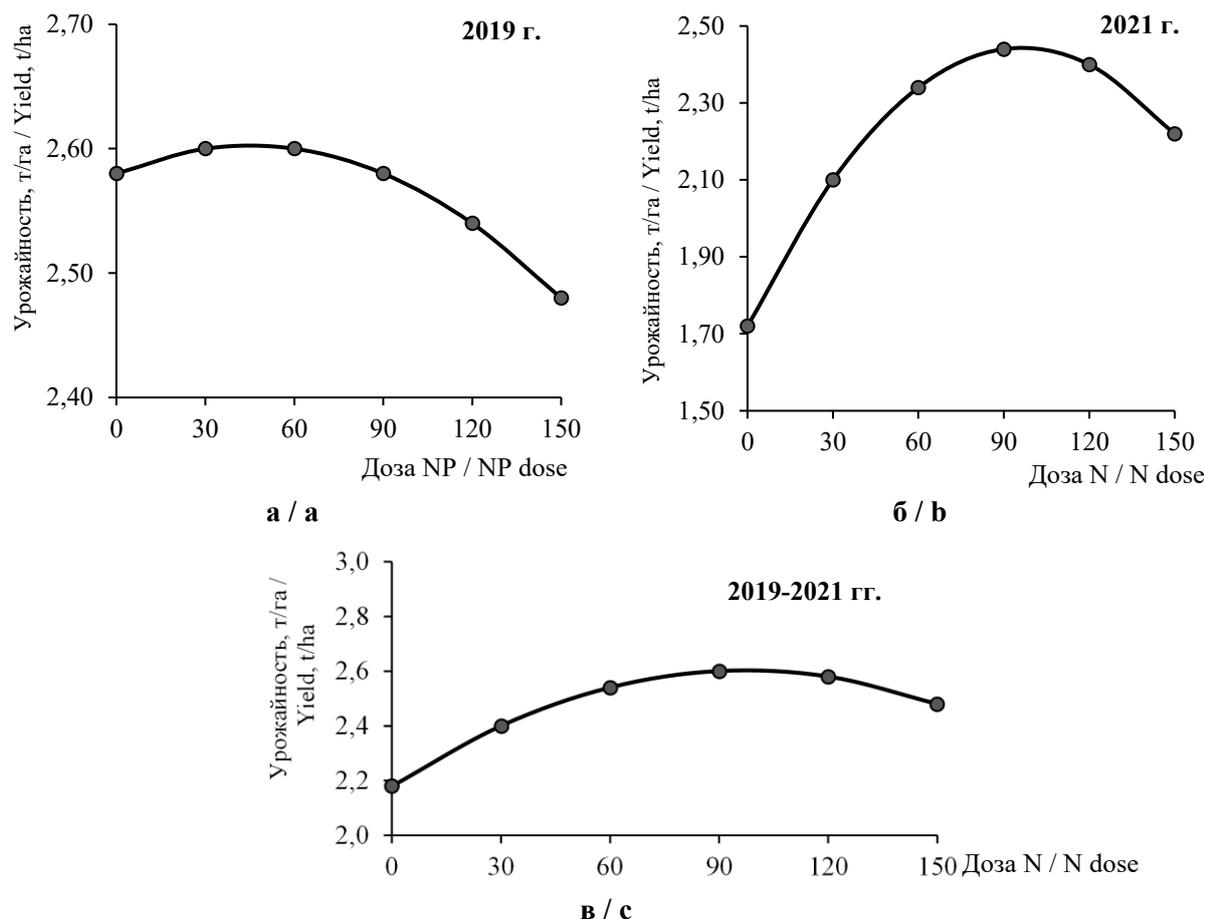


Рис. 2. Графики урожайности озимой ржи сорта Фаленская 4, рассчитанной по регрессионным уравнениям (формулы 1-3) /

Fig. 2 Yield graphs of Falenskaya 4 winter rye, calculated by regression equations (formulas 1-3)

Одним из безусловных плюсов факториальных схем опытов является возможность расчёта с помощью регрессионных уравнений урожайности, полученной в вариантах, не представленных непосредственно в поле [17]. В связи с тем, что по усреднённым за два года исследований данным доказанную эффективность показали азотные удобрения, в таблице 2 представлена урожайность озимой ржи, прибавки и окупаемость зерном при внесении

возрастающих доз азотных удобрений. Увеличение прибавок урожайности озимой ржи от 0,22 до 0,42 т/га отмечено при повышении доз азота от 30 до 90 кг/га, дальнейшее увеличение приводило к снижению прибавки. Наибольшая окупаемость азотных удобрений зерном получена в варианте N₃₀, каждое дальнейшее увеличение дозы на 30 кг/га приводило к снижению окупаемости на 1,3 кг зерна.

Таблица 2 – Урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4, прибавка и окупаемость азотных удобрений зерном (расчётные данные) /

Table 2 – Yield of Falenskaya 4 winter rye, increase and payback of nitrogen fertilizers by grain (calculated data)

| Вариант / Variant | Урожайность, т/га / Yield, t/ha | Прибавка, т/га / Increase, t/ha | Окупаемость 1 кг д. в. зерном, кг / Payback of 1 kg of a. i. by grain, kg |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|---|
| N ₀ | 2,18 | - | - |
| N ₃₀ | 2,40 | 0,22 | 7,3 |
| N ₆₀ | 2,54 | 0,36 | 6,0 |
| N ₉₀ | 2,60 | 0,42 | 4,7 |
| N ₁₂₀ | 2,58 | 0,40 | 3,3 |
| N ₁₅₀ | 2,48 | 0,30 | 2,0 |

Важнейшим показателем в практике реального применения минеральных удобрений является экономическая эффективность их использования, что особенно важно в условиях существующего диспаритета цен на минеральные удобрения и с.-х. продукцию. В условиях 2019 года наибольшая рентабельность получена в варианте без применения удобрений (74 %). При использовании удобрений проис-

ходило существенное снижение рентабельности в 1,6 раза и более. Среди изучаемых в опыте доз удобрений наибольшая рентабельность получена в вариантах K_{90} , N_{90} и $N_{30}P_{30}K_{30}$, наименьшая – в варианте $N_{150}P_{150}K_{150}$. Стоит отметить, что в целом возделывание озимой ржи становилось нерентабельным при использовании полного минерального удобрения в дозе от 60 кг/га д. в. и выше (табл. 3).

Таблица 3 – Рентабельность применения различных доз и соотношений минеральных удобрений при возделывании озимой ржи сорта Фаленская 4 (фактические данные), % /

Table 3 – Profitability of the use of various doses and ratios of mineral fertilizers in the cultivation of Falenskaya 4 winter rye (experimental data), %

| Вариант / Variant | Рентабельность / Profitability | | | Вариант / Variant | Рентабельность / Profitability | | |
|----------------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|-------------------------|--------------------------------|---------|-------------------|
| | 2019 г. | 2021 г. | среднее / average | | 2019 г. | 2021 г. | среднее / average |
| $N_0P_0K_0$ (контроль / control) | 74 | 43 | 60 | $N_{120}P_{30}K_{30}$ | 19 | -2 | 9 |
| K_{90} | 45 | 15 | 31 | $N_{120}P_{30}K_{120}$ | -4 | -20 | -12 |
| P_{90} | 36 | -3 | 18 | $N_{120}P_{120}K_{30}$ | -13 | 1 | -6 |
| $P_{90}K_{90}$ | 13 | -16 | -1 | $N_{120}P_{120}K_{120}$ | -23 | -16 | -20 |
| N_{90} | 46 | 50 | 48 | $N_{60}P_{60}K_{60}$ | 6 | 5 | 6 |
| $N_{90}K_{90}$ | 23 | 21 | 22 | $N_{60}P_{60}K_{150}$ | -1 | -13 | -7 |
| $N_{90}P_{90}$ | 0 | -6 | -3 | $N_{60}P_{150}K_{60}$ | -2 | -20 | -11 |
| $N_{90}P_{90}K_{90}$ | -14 | -14 | -14 | $N_{60}P_{150}K_{150}$ | -12 | -28 | -20 |
| $N_{30}P_{30}K_{30}$ | 48 | 15 | 32 | $N_{150}P_{60}K_{60}$ | -7 | -22 | -14 |
| $N_{30}P_{30}K_{120}$ | 25 | -2 | 12 | $N_{150}P_{60}K_{150}$ | -12 | -26 | -19 |
| $N_{30}P_{120}K_{30}$ | 15 | -10 | 3 | $N_{150}P_{150}K_{60}$ | -22 | -29 | -25 |
| $N_{30}P_{120}K_{120}$ | 9 | -20 | -5 | $N_{150}P_{150}K_{150}$ | -36 | -34 | -35 |

В условиях 2021 г. рентабельность применения удобрений была ниже в большинстве вариантов относительно данных 2019 года, что может быть связано с общим снижением уровня урожайности. В 2021 г. рентабельность при возделывании озимой ржи без использования удобрений составила 43 %, при внесении азотных удобрений в дозе N_{90} она повышалась на 7 %. Применение всех остальных исследуемых доз удобрений снижало рентабельность в 2 раза и более. Наименьшую рентабельность получили при применении полного минерального удобрения в дозе 150 кг д. в./га. Повышение суммарной дозы NPK более 90 кг д. в./га делало возделывание озимой ржи нерентабельным (кроме варианта $N_{90}K_{90}$ и $N_{60}P_{60}K_{60}$).

В среднем за два года исследований рентабельность возделывания озимой ржи без

применения удобрений составила 60 %. Среди исследуемых в опыте доз удобрений рентабельность производства более 30 % была при внесении K_{90} , $N_{30}P_{30}K_{30}$ и N_{90} , внесение других доз удобрений было нецелесообразным.

Экономическая эффективность азотных удобрений, для расчёта которой использовались рассчитанные по уравнению регрессии (формула 3) данные, представлена в таблице 4. Наибольшая рентабельность отмечена в варианте без применения удобрений, с увеличением доз данный показатель снижался, однако, даже при использовании 150 кг/га азота, рентабельность оставалась положительной. Среди доз азотных удобрений по экономической эффективности выделились два варианта: N_{30} и N_{60} – разница между значениями рентабельности по ним наименьшая среди изучаемых (до 7 %).

Таблица 4 – Экономическая эффективность применения азотных удобрений при возделывании озимой ржи сорта Фаленская 4 (расчётные данные) / Table 4 – Economic efficiency of the use of nitrogen fertilizers in the cultivation of Falenskaya 4 winter rye (calculated data)

| Вариант / Variant | Затраты, руб. / Expenses, rub. | | Стоимость продукции, руб. / Cost of production, rub | Прибыль, руб. / Profit, rub | Рентабельность, % / Profitability, % |
|-------------------|--------------------------------|--------------------|---|-----------------------------|--------------------------------------|
| | на 1 т / per 1 t | на 1 га / per 1 ha | | | |
| N ₀ | 5743 | 12520 | 20710 | 8190 | 65 |
| N ₃₀ | 6268 | 15043 | 22800 | 7757 | 52 |
| N ₆₀ | 6572 | 16693 | 24130 | 7437 | 45 |
| N ₉₀ | 6990 | 18173 | 24700 | 6527 | 36 |
| N ₁₂₀ | 7551 | 19483 | 24510 | 5027 | 26 |
| N ₁₅₀ | 8315 | 20622 | 23560 | 2938 | 14 |

Заключение. В условиях Среднего Предуралья (Пермский край) на эффективность изучаемых доз и соотношений элементов питания при возделывании озимой ржи сорта Фаленская 4 оказали влияние гидротермические особенности периодов вегетации – обильные осадки в июле-августе 2019 года и засуха в мае-июне 2021 года. Наибольшая урожайность озимой ржи сорта Фаленская 4 в 2019 г. получена в варианте N₃₀P₁₂₀K₁₂₀ (3,07 т/га), в вариантах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₉₀ отмечена наибольшая окупаемость минеральных удобрений зерном – 5,69 и 6,09 кг соответственно. В 2021 г. наибольшая урожайность и окупаемость удобрений зерном получена в варианте N₉₀ – 3,01 т/га и 13,96 кг зерна. В среднем за два года наибольшее влияние

на урожайность оказывали азотные удобрения до дозы 90 кг д.в./га, высокая окупаемость удобрений зерном отмечена при использовании дозы N₃₀ (7,3 кг).

Наиболее рентабельным по годам исследований является возделывание озимой ржи без применения удобрений – в среднем за 2 года рентабельность составила 60 %. При расчёте экономического эффекта от применения доз азотных удобрений установлено, что все изучаемые дозы обеспечивали положительную рентабельность – от 52 % (N₃₀) до 14 % (N₁₅₀). Несмотря на наибольшую урожайность при применении дозы N₉₀, с точки зрения получения прибыли, наиболее выгодно возделывать озимую рожь при внесении азота в дозах 30 и 60 кг/га.

Список литературы

1. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Изменение продуктивности культур зернопаротравяного севооборота и агрохимических показателей почвы в многолетнем полевом опыте при применении минеральных удобрений. Агропромышленные технологии Центральной России. 2018;(3(9)):76-84. DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-9-76-84> EDN: XZKZKH
2. Белоус И. Н., Харкевич Л. П., Шаповалов В. Ф., Малякко Г. П. Влияние систем удобрения озимой ржи на урожайность и технологические качества зерна. Зерновое хозяйство России. 2018;(3(57)):3-8. DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-57-3-3-8> EDN: RUDRRF
3. Пинаева М. И., Михайлова Л. А., Акманаева Ю. А. Влияние предшественника и доз минеральных удобрений на урожайность озимой ржи при возделывании на дерново-подзолистой почве. Пермский аграрный вестник. 2017;(3(19)):101-106. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009685> EDN: ZGSGGN
4. Шпанев А. М., Фесенко М. А. Влияние предпосевного внесения полного минерального удобрения на фитосанитарное состояние посевов озимой ржи на Северо-Западе России. Вестник защиты растений. 2019;(3(101)):34-40. DOI: [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-34-40](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-34-40) EDN: CMQITS
5. Володина Т. И., Чухина О. В., Демидова А. И. Потребление азота, сбор протеина культурами севооборота под влиянием минеральной и органических систем удобрений. Молочнохозяйственный вестник. 2019;(4(36)):31-45. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41539197> EDN: MRZCZG
6. Мерзлая Г. Е., Зябкина Г. А., Фомкина Т. П., Козлова А. В., Макшакова О. В., Волошин С. П., Хромова О. М., Панкратенкова И. В. Эффективность длительного применения органических и минеральных удобрений на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Агрохимия. 2012;(2):37-46. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17680660> EDN: OWXOFV
7. Попов Ф. А., Абашев В. Д., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В., Лыскова И. В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(5):561-570. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.561-570> EDN: UVZPJV
8. Абашев В. Д., Светлакова Е. В., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Денисова А. В. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна озимой ржи. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2014;(4(41)):26-30. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699656> EDN: SGWEVN

9. Wyzińska M., Grabiński J. Economic efficiency of different winter rye production technologies. Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists. 2021;XXIII(4):201-208. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5918>
10. Пономарев С. Н., Пономарева М. Л., Маннапова Г. С., Фомин С. И. Особенности формирования урожайности озимой ржи в контрастных гидротермических условиях севера Средневолжья. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022;(4(44)):151-162. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-151-162> EDN: LCIEETE
11. Полетаев И. С., Хадькин А. В., Четвериков Ф. П., Губов В. И. Влияние минеральных азотных удобрений на продуктивность озимых культур в условиях Саратовского Левобережья. Аграрные конференции. 2021;(6(30)):6-14. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48112470> EDN: IQFTGA
12. Studnicki M., Macholdt J., Macdonald A., Stępień W. Effects of Fertilizers and Manures on Temporal Yield Variability of Winter Rye. Agronomy. 2021;11(3):519. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030519>
13. Фесенко М. А., Шпанев А. М., Смух В. В. О значимости агрометеорологических и техногенных факторов при возделывании культур полевого севооборота на северо-западе России. Научные труды по агрономии. 2020;(1(3)):28-32. DOI: <https://doi.org/10.37574/2658-7963-2020-1-28-32> EDN: KWLSVW
14. Полетаев И. С., Солодовников А. П., Четвериков Ф. П., Хадькин А. В., Губов В. И. Эффективность минеральных удобрений при возделывании озимых культур, нута и подсолнечника в условиях Саратовского Левобережья. Аграрный научный журнал. 2022;(7):37-40. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp37-40> EDN: UYBVMMR
15. Чухина О. В., Демидова А. И., Ганичева В. В. Оплата удобрений прибавкой урожая зерна озимой ржи в Вологодской области. Znanstvena Misel. 2020;(48-1(48)):8-11. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44305841> EDN: LQUATZ
16. Абашев В. Д., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Светлакова Е. В. Эффективность минеральных удобрений при возделывании различных сортов озимой ржи. Вестник Марийского государственного университета. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2020;6(2(22)):131-137. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-131-136> EDN: DLLNUT
17. Цыгуткин А. С., Васбиева М. Т., Шишков Д. Г. Особенности постановки полевого опыта с минеральными удобрениями на основе неполной факториальной схемы 1/9(6x6x6). Земледелие. 2022;(6):22-25. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-22-26> EDN: JTCKYA

References

1. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. Change in productivity of crops in grain-fallow-grass crop rotation and soil agrochemical properties at use of mineral fertilizer in perennial field experiment. *Agropromyshlennye tekhnologii Tsentral'noy Rossii = Agro Central Russian Technologies*. 2018;(3(9)):76-84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24888/2541-7835-2018-9-76-84>
2. Belous I. N., Kharkevich L. P., Shapovalov V. F., Malyavko G. P. The effect of fertilizing systems on productivity and technological properties of winter rye. *Zernovoe khozyaystvo Rossii = Grain Economy of Russia*. 2018;(3):3-8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31367/2079-8725-2018-57-3-3-8>
3. Pinaeva M. I., Mikhaylova L. A., Akmanayeva Yu. A. Vliyaniye predshhestvennika i doz mineral'nykh udobreniy na urozhaynost' ozimoy rzhii pri vozdel'yvaniy na dernovo-podzolistoy pochve. *Permskiy agrarnyy vestnik = Perm Agrarian Journal*. 2017.:(3(19)):101-106. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30009685>
4. Shpanev A. M., Fesenko M. A. The influence of complete mineral fertilizer before sowing on phytosanitary condition of winter rye crops in the north-west of Russia. *Vestnik zashchity rasteniy = Plant Protection News*. 2019;(3(101)):34-40. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3\(101\)-34-40](https://doi.org/10.31993/2308-6459-2019-3(101)-34-40)
5. Volodina T. I., Chukhina O. V., Demidova A. I. Nitrogen consumption and protein collection in rotational crops under the influence of mineral and organic fertilizer systems. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2019;(4(36)):31-45. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41539197>
6. Merzlaya G. E., Zybalkina G. A., Fomkina T. P., Kozlova A. V., Makshakova O. V., Voloshin S. P., Khromova O. M., Pankratenkova I. V. Efficiency of long-term application of organic and mineral fertilizers on sandy loamy soddy-podzolic soil. *Agrokhimiya*. 2012;(2):37-46. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17680660>
7. Popov F. A., Abashev V. D., Noskova E. N., Svetlakova E. V., Lyskova I. V. Influence of long-term use of mineral fertilizers on the yield and quality of winter rye grain. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(5):561-570. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.5.561-570>
8. Abashev V. D., Svetlakova E. V., Popov F. A., Noskova E. N., De-nisova A. V. Influence of increasing rates and ratio of mineral fertilizers on winter rye yield and seed quality. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2014;(4(41)):26-30. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21699656>
9. Wyzińska M., Grabiński J. Economic efficiency of different winter rye production technologies. Annals of the Polish Association of Agricultural and Agribusiness Economists. 2021;XXIII(4):201-208. DOI: <https://doi.org/10.5604/01.3001.0015.5918>
10. Ponomarev S. N., Ponomareva M. L., Mannapova G. S., Fomin S. I. Features of winter rye yield formation in contrasting hydrothermal conditions of the northern middle Volga region. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2022;(4(44)):151-162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-4-151-162>

11. Poletaev I. S., Khadykin A. V., Chetverikov F. P., Gubov V. I. The influence of mineral nitrogen fertilizers on the productivity of winter crops in the conditions of the Saratov left bank. *Agrarnyye konferentsii*. 2021;(6(30)):6-14. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=48112470>
12. Studnicki M., Macholdt J., Macdonald A., Stepień W. Effects of Fertilizers and Manures on Temporal Yield Variability of Winter Rye. *Agronomy*. 2021;11(3):519. DOI: <https://doi.org/10.3390/agronomy11030519>
13. Fesenko M. A., Shpanev A. M., Smuk V. V. About the importance of agro-meteorological and anthropogenic factors in the cultivation of cultures of field crop rotation in north-west Russia. *Nauchnye trudy po agronomii* = Research papers on agronomy. 2020;(1(3)):28-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37574/2658-7963-2020-1-28-32>
14. Poletaev I. S., Solodovnikov A. P., Chetverikov F. P., Khadykin A. V., Gubov V. I. Efficiency of mineral fertilizers in the cultivation of winter crops, chickpea and sunflowers in the conditions of the Saratov left bank. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2022;(7):37-40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i7pp37-40>
15. Chukhina O. V., Demidova A. I., Ganicheva V. V. Payment for fertilizer with grain additive of winter rye in Vologda region. *Znanstvena Misel*. 2020;(48-1(48)):8-11. (In Poland). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44305841>
16. Abashev V. D., Popov F. A., Noskova E. N., Svetlakova E. V. The effectiveness of mineral fertilizers in the cultivation of various varieties of winter rye. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennyye nauki. Ekonomicheskije nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2020;6(2(22)):131-137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2020-6-2-131-136>
17. Tsygutkin A. S., Vasbieva M. T., Shishkov D. G. Features of a field experiment with mineral fertilizers based on an incomplete factorial scheme 1/9(6x6x6). *Zemledelie*. 2022;(6):22-25. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-6-22-26>

Сведения об авторах

✉ **Шишков Данил Глебович**, аспирант кафедры агрохимии, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, г. Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru; младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, ул. Культуры, д. 12, с. Лобаново, Пермский район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>, e-mail: danil.shishkov@gmail.com

Олехов Владимир Радомирович, кандидат с.-х. наук, заведующий кафедрой агрохимии, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д. Н. Прянишникова», ул. Петропавловская, д. 23, г. Пермь, Пермский край, Российская Федерация, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4106-2518>

Васбиева Марина Тагирьяновна, кандидат биол. 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 район, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4048-6319>

Information about the authors

✉ **Danil G. Shishkov**, postgraduate student, the Department of Agrochemistry, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, 23, Petropavlovskaya str., Perm, Perm Region, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru; junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm region, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>, e-mail: danil.shishkov@gmail.com

Vladimir R. Olekhov, PhD in Agricultural Science, Head of the Department of Agrochemistry, Perm State Agro-Technological University named after academician D. N. Prianishnikov, 23, Petropavlovskaya str., Perm, Perm region, Russian Federation, 614990, e-mail: info@pgatu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4106-2518>

Marina T. Vasbieva, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Agrotechnologies, Perm Agricultural Research Institute – division of Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury St., Lobanovo, Perm district, Perm region, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4048-6319>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и показатели качества клубней картофеля

© 2023. Н. Е. Завьялова , Д. Г. Шишков, О. В. Иванова

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

В условиях Среднего Предуралья в 2020 и 2022 годах определена урожайность и показатели качества клубней картофеля сорта Гала в долгосрочном стационарном опыте при длительном внесении возрастающих доз NPK (30-60-90-120-150 кг д. в./га). Внесение NPK по 60 кг д.в./га и более способствовало увеличению урожайности картофеля в 1,1-1,3 раза в 2020 году и в 1,3-1,5 раза в 2022 относительно контрольного варианта без удобрений (21,4 и 14,4 т/га соответственно по годам). Наименьшее содержание сухого вещества по годам исследований отмечено при максимальной в опыте дозе минеральных удобрений $N_{150}P_{150}K_{150}$ – 15,6 % в относительно благоприятный по погодным условиям 2020 год и 19,4 % в засушливый 2022 год. Содержание крахмала в клубнях картофеля практически не зависело от дозы вносимых минеральных удобрений и варьировало в условиях 2020 года в интервале от 11,1 до 13,8 %, в 2022 году – от 14,4 до 16,3 %. В клубнях картофеля содержание сырого протеина с возрастанием дозы минерального удобрения от 30 до 150 кг д.в. NPK возрастало от 1,32 до 1,90 % в 2020 году и от 1,80 до 2,65 % в 2022 году к сырой массе. Содержание сахаров в 2020 году – 0,58-0,83 % на естественную влажность, в условиях 2022 года – 0,23-0,47 %. Содержание клетчатки в клубнях картофеля не зависело от дозы минеральных удобрений. Внесение возрастающих доз NPK не привело к превышению допустимого значения содержания нитратов в свежем картофеле. По комплексной оценке качества, клубни картофеля, полученные при данных условиях, пригодны для производства низкоуглеводных картофелепродуктов и кормовых целей.

Ключевые слова: длительный стационарный опыт, азот, фосфор, калий, структура урожая, крахмал, сухое вещество, нитраты

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН (тема АААА-А18-118021990053-3).

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г., Иванова О. В. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность и показатели качества клубней картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):409-416.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.409-416>

Поступила: 14.03.2023

Принята к публикации: 18.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The effect of increasing rates of mineral fertilizers on the yield and quality parameters of potato tubers

© 2023. Nina E. Zavyalova , Danil G. Shishkov, Olga V. Ivanova

Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, Lobanovo, Perm district, Perm Region, Russian Federation

The yield and quality parameters of potato tubers of Gala variety were determined in the conditions of the Middle Urals in 2020 and 2022 in long-term stationary experiment after prolonged application of NPK increasing rates (30-60-90-120-150 kg a.i.). The application of NPK by 60 kg a.i./ha and more promoted the potato yield raise by 1.1-1.3 times in 2020 and by 1.3-1.5 times in 2022 compared with the control variant without fertilizers (21.4 and 14.4 t/ha by years, respectively). The lowest dry matter content over the years of research was noted at the maximum dose of $N_{150}P_{150}K_{150}$ mineral fertilizer in the experiment – 15.6 % in favorable weather conditions of 2020 and 19.4 % in the dry 2022. The starch content in potato tubers did not depend on the dose of applied mineral fertilizers and varied in 2020 in the range from 11.1 to 13.8 %, in 2022 – from 14.4 to 16.3 %. In potato tubers the content of crude protein in the wet mass increased from 1.32 to 1.90 % in 2020 and from 1.80 to 2.65 % in 2022 to the weight of wet mass with an increase in the dose of NPK from 30 to 150 kg/ha active substance. The sugar content in 2020 was 0.58-0.83 % for natural humidity, in 2022 – 0.23-0.47 %. The fiber content in potato tubers did not depend on the doses of applied mineral fertilizers. The application of increasing doses of NPK did not lead to exceeding the permissible value of the nitrate content in fresh potato. According to a comprehensive assessment of the quality of tubers, potato yield, obtained under given conditions, was suitable for the production of low carbohydrate potato products and for fodder purposes.

Keywords: long stationary experiment, nitrogen, phosphorus, potassium, crop structure, starch, dry matter, nitrates

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 Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences (theme АААА-А18-118021990053-3).

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: Zavyalova N. E., Shishkov D. G., Ivanova O. V. The effect of increasing rates of mineral fertilizers on the yield and quality parameters of potato tubers. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):409-416. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.409-416>

Received: 14.03.2023

Accepted for publication: 18.05.2023

Published online: 28.06.2023

Увеличение объемов сельскохозяйственной продукции возможно только при систематическом повышении плодородия почв путем комплексного агрохимического окультуривания [1]. В условиях меняющихся плодородия почвы и климата, внедрения новых сортов и технологий изучение эффективности минеральных и органических удобрений необходимо проводить постоянно. Решение этих вопросов возможно при проведении исследований в длительных полевых опытах.

К числу важнейших сельскохозяйственных культур относится картофель клубненосный (*Solanum tuberosum* L.), который является одной из основных продовольственных, кормовых и технических культур в России и мире. В России этот продукт возделывают на площади более 3 млн га, средняя урожайность составляет 12-15 т/га, что связано как с негативным воздействием погодных условий, так и с распространенной практикой возделывания по экстенсивным технологиям [2, 3]. Лучшие хозяйства обеспечивают урожайность на уровне 40-50 т/га.

Учеными Всероссийского НИИ картофельного хозяйства им. А. Г. Лорха проведена оценка продуктивности и качества перспективных сортов картофеля отечественной селекции, выделены сорта разных групп спелости с высоким потенциалом урожайности (до 58,7 т/га), отзывчивые на условия минерального питания и уровни плодородия дерново-подзолистой почвы [4].

Картофель во всех категориях хозяйств Пермского края занимает 41,3 тыс. га, в т. ч. в сельхозпредприятиях – 4,5-4,7 тыс. га. Средняя урожайность за 2014-2016 гг., полученная сельхозпредприятиями, составила 13,9 т/га, в 2017-2021 гг. – от 10,1 до 15,9 т/га¹. Большая часть картофеля в Предуралье возделывается в частных подсобных хозяйствах.

Цель исследования – изучить влияние длительного применения возрастающих доз НРК на урожайность и качество клубней картофеля в агроклиматических условиях Предуралья.

Научная новизна заключается в получении экспериментальных данных по влиянию минеральных удобрений на потребительские качества картофеля сорта Гала с целью расширения сортимента сортов, адаптированных к условиям региона.

Материал и методы. Экспериментальную работу проводили на базе длительного стационарного опыта «Влияние доз и соотношений минеральных удобрений на урожай полевых культур в факториальном опыте», заложенного в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ – филиала Пермского федерального исследовательского центра УрО РАН. Почва опытного участка – дерново-подзолистая тяжелосуглинистая. Варианты опыта: Без удобрений (контроль); N₃₀P₃₀K₃₀; N₆₀P₆₀K₆₀; N₉₀P₉₀K₉₀; N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀; N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀. Данная схема является выборкой из 24-вариантной схемы опыта. Удобрения в опыте вносили под весеннюю вспашку.

Севооборот восьмипольный: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница, клевер 1 г. п., клевер 2 г. п., ячмень, овес.

На момент закладки опыта почва имела следующие усредненные агрохимические показатели пахотного слоя: рН_{KCl} 5,6; гидролитическая кислотность – 2,0, обменная – 0,025, сумма поглощенных оснований – 21,0 мг-экв/100 г почвы; содержание гумуса по Тюрину – 2,12 %, подвижных форм фосфора 175, обменного калия 203 мг/кг почвы (по Кирсанову). Известкование почвы проводили перед закладкой опыта по 1,0 г. к. Опыт заложен в двух полевых закладках в двукратной повторности, размещение вариантов рендомизированное. Общая площадь делянки 120 м², учетная 76,4 м².

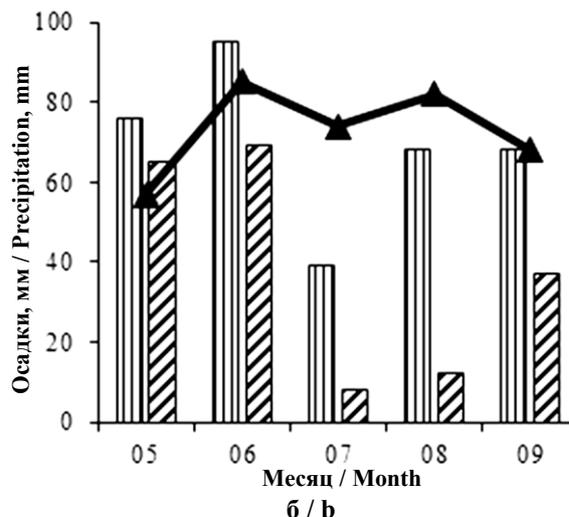
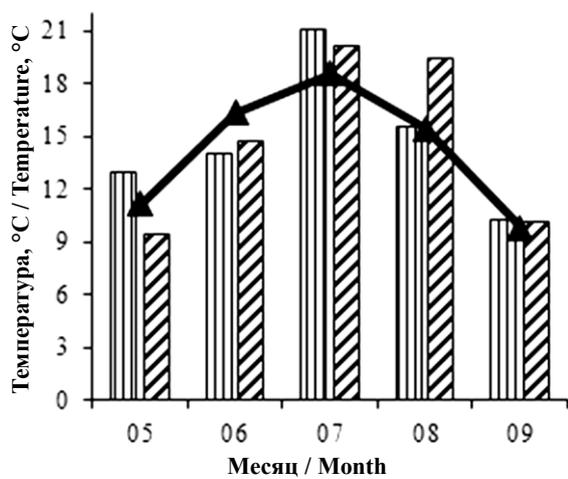
В 2020 и 2022 гг. в опыте возделывали картофель сорта Гала немецкой селекции, который внесен в Госреестр РФ в 2008 году и рекомендован для выращивания в северных и центральных регионах. Сорт относится к столовым, устойчив к механическим повреждениям и вирусам. Период созревания – 65-80 дней, кожица желтоватого цвета, средней толщины, мякоть бледно желтая. Потенциальная урожайность – 60 т/га.

¹Пермский край в цифрах. 2022: краткий статистический сборник. Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики по Пермскому краю. Пермь, 2022. 195 с.

Структуру урожайности картофеля определяли по А. С. Пискунову², показатели качества клубней картофеля – общепринятыми методами: влагу и сухое вещество по ГОСТ Р 54951-2012; нитраты – ГОСТ 13496.19-2015; азот и сырой протеин – ГОСТ 13496.4-2019; сырую клетчатку – ГОСТ 31675-2012; растворимые и легкогидролизуемые углеводы – ГОСТ 26176-2019. Опытные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову³ с использованием программы Microsoft Excel.

Погодные условия периодов вегетации представлены на рисунке. В целом необходимо отметить, что 2020 г. был более пригоден для

возделывания культуры. В начале развития картофеля наблюдалась холодная влажная погода, затем в период «бутонизация-цветение» (июль) – жаркая и сухая, из-за чего не все растения сформировали бутоны. В августе, несмотря на несколько засушливые условия, фаза «созревание» и уборка происходили в благоприятных для растений условиях. Вегетационный период 2022 года характеризовался острозасушливыми условиями, особенно в июле и августе, когда при повышенной температуре наблюдался сильный недостаток атмосферных осадков относительно среднемноголетних значений.



■ – 2020 г. ▨ – 2022 г. ▲ – Средне-многолетнее / Long-term average

Рис. Агрометеорологические показатели вегетационных периодов 2020 и 2022 гг.: а – среднемесячная температура воздуха, б – сумма осадков за месяц /

Fig. Agrometeorological indicators of the growing seasons of 2020 and 2022: a – average monthly air temperature, b – amount of precipitation for the month

Результаты и их обсуждение. Качество и продуктивность картофеля определяется, прежде всего, особенностями сорта. На урожайность и качество клубней картофеля влияют также минеральное питание растений и гидро-термические условия вегетационного периода. Перед посадкой почва характеризовалась высоким содержанием подвижных соединений фосфора (220-470 мг/кг) и калия (150-260 мг/кг). Обеспеченность пахотного слоя минеральным азотом составила 18-35 мг/кг. Реакция почвенной среды в зависимости от вариантов опыта изменялась от близкой к нейтральной (pH_{KCl} 5,7-6,0) до сильнокислой (pH_{KCl} 4,7) в варианте с максимальной дозой NPK.

Формирование урожая картофеля сорта Гала в 2020 и 2022 годах проходило в условиях повышенного уровня тепла и пониженной влагообеспеченности. Однако достаточное количество основных элементов питания несколько смягчило действие неблагоприятных погодных условий. Урожайность картофеля в опыте варьировала в зависимости от дозы вносимых удобрений: от 20,7 – при N₃₀P₃₀K₃₀ до 27,5 т/га – при N₆₀P₆₀K₆₀ (НСР₀₅ = 4,2) в 2020 г., от 16,6 – при N₃₀P₃₀K₃₀ до 21,4 т/га – при N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ (НСР₀₅ = 3,3) в 2022 г. (табл. 1). Увеличение дозы минеральных удобрений в годы наблюдений более 60 кг д. в./га не привело к повышению урожайности картофеля. В среднем за два года по массе клубней выделялся вариант N₆₀P₆₀K₆₀, что соответствовало урожайности 27,5 и 20,2 т/га.

²Пискунов А. С. Методы агрохимических исследований. М.: Колос, 2004. 312 с.

³Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Альянс, 2011. 350 с.

Таблица 1 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на урожайность картофеля сорта Гала, т/га / Table 1 – The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the yield of potato of Gala variety, t/ha

| Вариант / Variant | 2020 г. | | 2022 г. | |
|--|---------------------|--|---------------------|--|
| | урожайность / yield | прибавка к контролю / increment to the control | урожайность / yield | прибавка к контролю / increment to the control |
| Без удобрений / No fertilizers | 21,4 | - | 14,4 | - |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 20,7 | -0,7 | 16,6 | 2,2 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 27,5 | 6,1 | 20,2 | 5,8 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 23,2 | 1,8 | 18,9 | 4,5 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 27,2 | 5,8 | 21,4 | 7,0 |
| N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀ | 26,6 | 5,2 | 18,5 | 4,1 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 4,2 | | 3,3 | |

Анализ структуры полученного урожая показал, что масса клубней на удобренных вариантах получена в 1,06-1,39 раза выше, чем в контроле (табл. 2). При этом средняя масса клубня в 2022 году была почти в 2 раза меньше, чем в вегетационный период 2020 года, что объясняется формированием клубней в сухую и жаркую погоду. Количество клубней практически не зависело от дозы NPK и составило в 2020 году 19-21 шт., в 2022 году – 15-18 шт. Урожайность была сформирована в первую очередь за счёт массы клубней с куста (коэффициент корреляции – 0,78, $p \leq 0,05$). Выход

семенной фракции картофеля сорта Гала при минимальной дозе N₃₀P₃₀K₃₀ составил 53,6 % относительно 58,9 % в контроле. При внесении минеральных удобрений по 60-150 кг д. в./га выявлена тенденция к повышению доли семенной фракции в структуре урожая относительно варианта без удобрений. Возрастающие дозы NPK не оказали значимого влияния на содержание товарной фракции картофеля в структуре урожая. При анализе данных выделился вариант N₆₀P₆₀K₆₀, в котором товарная фракция составила 54,8 %, что на 8,1 % выше, чем на делянках без удобрений.

Таблица 2 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на структуру урожая картофеля сорта Гала / Table 2 – The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the yield structure of Gala variety potato

| Вариант / Variant | Масса клубней, г/куст / Tubers mass, g/bush | | Количество клубней, шт/куст / Number of tubers, pcs/bush | | Средняя масса клубня, г / Average tuber mass, g | | Фракция, % / Fraction, %/ | | | |
|--|---|--------------------------------|--|--------------------------------|---|--------------------------------|--------------------------------|---------|--------------------------------|--------------------------------|
| | | | | | | | семенная / seed | | товарная / commercial | |
| | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. |
| Без удобрений / No fertilizers | 734,8 | 364,5 | 16 | 12 | 48,2 | 29,7 | 58,9 | 27,5 | 46,7 | 55,6 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 776,6 | 375,0 | 19 | 15 | 41,9 | 25,7 | 53,6 | 18,9 | 44,1 | 52,6 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 1022,0 | 492,7 | 20 | 18 | 50,8 | 28,0 | 64,1 | 25,9 | 54,8 | 53,8 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 833,6 | 424,6 | 21 | 16 | 40,8 | 28,6 | 64,7 | 24,6 | 46,4 | 50,0 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 959,4 | 467,3 | 21 | 15 | 48,0 | 31,3 | 59,1 | 27,6 | 46,6 | 51,4 |
| N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀ | 844,3 | 424,9 | 21 | 18 | 41,6 | 24,4 | 65,7 | 14,4 | 43,2 | 36,7 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 124,2 | F _ф <F _т | F _ф <F _т | F _ф <F _т | F _ф <F _т | F _ф <F _т | F _ф <F _т | 11,7 | F _ф <F _т | F _ф <F _т |

Различное количество вносимых минеральных удобрений отразилось на содержании макроэлементов в клубнях картофеля (табл. 3). Внесение возрастающих доз NPK в 2020 году вызвало повышение содержания азота до 0,32 % в продукции естественной влажности по сравнению с контрольным вариантом (в 1,4 раза), содержание фосфора практически не изменялось. Содержание калия в клубнях увеличивалось с

возрастанием дозы калийного удобрения от 0,51 в контроле до 0,73 % к сырой массе при максимальной дозе NPK. Определение элементного состава клубней картофеля в 2022 году показало, что клубни содержат азота в 1,3-1,5 раза больше, чем в 2020 году. Содержание фосфора и калия в продукции практически не изменилось в зависимости от дозы NPK и в сравнении с 2020 годом.

Таблица 3 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на химический состав клубней картофеля сорта Гала, %/

Table 3 – The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the chemical composition of the Gala variety potato tubers, %

| Вариант / Variant | N | | P ₂ O ₅ | | K ₂ O | |
|--|---------|---------|-------------------------------|---------|------------------|---------|
| | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. |
| Без удобрений / No fertilizers | 0,23 | 0,29 | 0,11 | 0,13 | 0,51 | 0,57 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 0,21 | 0,43 | 0,09 | 0,11 | 0,50 | 0,53 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 0,27 | 0,35 | 0,10 | 0,11 | 0,64 | 0,65 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 0,32 | 0,33 | 0,11 | 0,11 | 0,67 | 0,63 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 0,30 | 0,37 | 0,09 | 0,09 | 0,54 | 0,59 |
| N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀ | 0,27 | 0,42 | 0,10 | 0,12 | 0,73 | 0,65 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,06 | 0,06 | 0,01 | 0,01 | 0,07 | 0,04 |

Примечание: здесь и далее данные приводятся на естественную влажность / Note: here and further data are given for natural humidity

Питательная ценность картофеля зависит от содержания в клубнях отдельных химических компонентов, которое меняется в зависимости от сорта картофеля, почвенно-климатических условий, особенностей агротехники, сроков уборки, продолжительности хранения и т. д. [5, 6].

В клубнях картофеля в 2020 году в контрольном варианте определено 20,0 % сухого вещества, в 2022 году – 21,8 % (табл. 4). По литературным данным, его содержание может варьировать от 17 до 35 %⁴ [7, 8, 9]. При повышении

дозы NPK до 120 кг д. в./га содержание сухого вещества изменялось незначительно, наименьшее его количество отмечено при максимальной дозе минерального удобрения – 15,6 % и 19,4 % в 2020 и 2022 гг. соответственно. Внесение повышенных доз азотных удобрений ведет к снижению содержания сухого вещества в клубнях картофеля, коэффициент корреляции между дозами удобрений и содержанием сухого вещества в нашем опыте составил -0,73 и -0,75 в 2020 и 2022 гг. соответственно (высокая обратная зависимость, p<0,05).

Таблица 4 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрения на содержание сухого вещества, крахмала и нитратов в клубнях картофеля сорта Гала /

Table 4 – The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the content of dry matter, starch and nitrates in potato of Gala variety

| Вариант / Variant | Сухое вещество, % / Dry matter, % | | Крахмал, % / Starch, % | | Нитраты, мг/кг / Nitrate, mg/kg | |
|--|-----------------------------------|---------|------------------------|---------|---------------------------------|---------|
| | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. |
| Без удобрений / No fertilizers | 20,0 | 21,8 | 12,0 | 16,3 | 46,6 | 83 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 18,6 | 22,6 | 12,6 | 15,6 | 57,1 | 98 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 19,3 | 22,0 | 11,8 | 14,5 | 63,6 | 134 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 19,9 | 21,0 | 13,8 | 14,5 | 51,8 | 155 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 19,0 | 21,1 | 12,1 | 14,6 | 57,8 | 145 |
| N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀ | 15,6 | 19,4 | 11,1 | 14,4 | 56,4 | 147 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,9 | 1,1 | 1,3 | 0,7 | 8,1 | 17,6 |

Главным пищевым компонентом картофеля являются углеводы, составляющие основную часть сухого вещества клубней. В состав углеводов входит крахмал, сахар, клетчатка и другие углеродсодержащие соединения.

Потребительские качества картофеля зависят, прежде всего, от содержания крахмала

(C₆H₁₀O₅ – полисахарид), который тесно коррелирует с количеством сухого вещества [10], однако в нашем опыте корреляционная связь между этими показателями не установлена. Содержание крахмала практически не зависело от дозы вносимых минеральных удобрений в 2020 г. и изменялось в интервале 11,1-13,8 %.

⁴Карманов С. Н., Кирюхин В. П., Коршунов А. В. Урожай и качество картофеля. М.: Россельхозиздат, 1988. 167 с.

Низкая крахмалистость клубней связана, прежде всего, с их недозреванием в гидротермических условиях вегетационного периода 2020 г. – холодная и влажная погода в период всходов, сухая и жаркая в фазы наиболее интенсивного роста картофеля «бутонизация-цветение» привела к ослаблению процесса фотосинтеза, а крахмал – продукт фотосинтеза растений. В засушливых условиях 2022 года содержание крахмала в клубнях картофеля было значительно выше – 14,4-16,3 %.

Для переработки на продукты питания, в соответствии с ГОСТ 26832-82, используется картофель, содержащий не ниже 14-15 % крахмала. Для производства спирта необходима крахмалистость (базисная) – 13-15 % (по ГОСТ Р 51808-2001). Сорта картофеля с содержанием крахмала 12-16 % рекомендуют для производства низкоуглеводных картофелепродуктов [4]. Картофель с низким содержанием крахмала и повышенным протеина пригоден также для кормовых целей [11].

Внесение минеральных удобрений способствовало некоторому накоплению нитратного азота в клубнях картофеля: на 5,2-17,0 мг/кг относительно контрольного варианта в 2020 г. и 15-72 мг/кг – в 2022 г. Максимальное в опыте

содержание N-NO₃ (63,6 мг/кг) в сырой массе картофеля определено в клубнях при внесении NPK по 60 кг д. в./га в 2020 году и при N₉₀P₉₀K₉₀ – 155 мг/кг в 2022 году. Эти величины не превышают допустимое значение содержания нитратов в свежем картофеле (ПДК = 250 мг/кг).

Содержание сахаров в клубнях картофеля различных вариантов опыта в 2020 году составило 0,58-0,83 % от сырой массы клубней, в условиях 2022 года – 0,23-0,47 % (табл. 5). Статистически значимых различий этого показателя по вариантам опыта не выявлено. Содержание сахаров в 2022 году было меньше, чем в 2020 г. в 1,6-3,6 раза. Считается, что клубни с высоким содержанием редуцирующих сахаров (все моносахариды и некоторые дисахариды, кроме сахарозы) нежелательно использовать для приготовления полуфабрикатов и продуктов переработки (чипсы, стружка и т. д.), т. к. при этом ухудшается вкус и кулинарный вид изделия [11]. Для производства чипсов (жареный хрустящий картофель) используют сорта картофеля с высоким содержанием крахмала (не ниже 14 %) и редуцирующих сахаров (0,1-0,4 % на естественную влажность) для получения качественного продукта.

Таблица 5 – Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на содержание протеина, сахаров и клетчатки в клубнях картофеля сорта Гала, % / Table 5 – The effect of increasing doses of mineral fertilizers on the content of protein, sugars and fiber in potato of Gala variety, %

| Вариант / Variant | Протеин / Protein | | Сахара / Sugar | | Клетчатка / Fiber | |
|--|-------------------|---------|----------------|---------|-------------------|---------|
| | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. | 2020 г. | 2022 г. |
| Без удобрений / No fertilizers | 1,46 | 1,80 | 0,79 | 0,47 | 0,65 | 0,39 |
| N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ | 1,32 | 2,66 | 0,80 | 0,31 | 0,60 | 0,29 |
| N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ | 1,68 | 2,20 | 0,83 | 0,23 | 0,67 | 0,76 |
| N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀ | 1,84 | 2,03 | 0,65 | 0,23 | 0,78 | 0,34 |
| N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀ | 1,90 | 2,28 | 0,70 | 0,30 | 0,68 | 0,77 |
| N ₁₅₀ P ₁₅₀ K ₁₅₀ | 1,69 | 2,65 | 0,58 | 0,35 | 0,57 | 0,53 |
| HCP ₀₅ / LSD ₀₅ | 0,22 | 0,35 | – | – | 0,13 | 0,11 |

Белок картофеля является одним из наиболее ценных растительных белков, его усвояемость составляет 70-80 %. Содержание в клубнях сырого протеина, включающего белковые и небелковые азотные соединения, в зависимости от варианта опыта, составило 1,32-1,90 % к сырой массе в 2020 году и 1,80-2,65 % – в 2022 году.

В зависимости от целевого использования картофеля, содержание в нем протеина оценивается по-разному. Для кормовых целей

повышенное содержание протеина желательно, для технологических (производство крахмала) – нежелательно, т. к. снижает эффективность осаждения крахмальных зерен [8]. Максимальное содержание протеина в клубнях картофеля урожая 2020 года определено в вариантах N₉₀P₉₀K₉₀ и N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ – 1,84-1,90 %. Анализ урожая картофеля, убранного в 2022 году, показал увеличение содержания протеина во всех вариантах относительно контроля, но в особенности в вариантах N₃₀P₃₀K₃₀ и N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀.

Содержание клетчатки в клубнях картофеля – этого сложного по составу и трудногидролизуемого углевода, при внесении минеральных удобрений не зависело от их дозы и гидротермических условий вегетационного периода. Чем выше содержание клетчатки, тем хуже вкусовые качества картофеля.

Выводы. 1. В среднем за два года по урожайности картофеля сорта Гала выделился вариант N₆₀P₆₀K₆₀, в котором получено в 2020 году 27,5 т/га, в 2022 году – 20,2 т/га. Более высокий урожай при длительном внесении азота, фосфора и калия по 60 кг д. в./га был сформирован в основном за счет массы клубней с куста, которая была выше контрольного варианта в 1,4 раза в 2020 г., в 1,3 раза в 2022 г. В сухую и жаркую погоду вегетационного периода 2022 года средняя масса клубней по вариантам опыта составила 27,9 г, что почти в 2 раза меньше, чем в 2020 г. Количество клубней практически не зависело от дозы NPK и в 2020 г. составило 19–21 шт., в 2022 г. – 15–18 шт. Применение минерального удобрения NPK в дозах выше 60 кг д. в./га не привело к росту урожайности картофеля.

2. Содержание сухого вещества и крахмала являются базовыми показателями качества клубней картофеля. Наименьшее содержание

сухого вещества отмечено при максимальной в опыте дозе минерального удобрения N₁₅₀P₁₅₀K₁₅₀ – 15,61 и 19,41 % соответственно по годам исследований.

В засушливый период 2022 года сухого вещества в клубнях картофеля содержалось в 1,05–1,35 раза больше по сравнению с вегетационным периодом 2020 года. Содержание крахмала в клубнях картофеля практически не зависело от дозы вносимых минеральных удобрений и варьировало в условиях 2020 года в интервале 11,1–13,8 %, в 2022 году этот показатель составил 14,4–16,3 %.

3. Содержание сырого протеина в клубнях картофеля в зависимости от варианта опыта составило 1,32–1,90 % в 2020 году и 1,80–2,65 % – в 2022 году, сахаров соответственно – 0,58–0,83% и 0,23–0,47 % от сырой массы клубней. Корреляционной зависимости данного показателя от возрастающих доз NPK не выявлено.

4. По комплексной оценке качества клубней картофеля сорта Гала, выращенный в агроклиматических условиях Среднего Предуралья при внесении возрастающих доз NPK, пригоден для производства низкоуглеводных картофелепродуктов и кормовых целей.

Список литературы

1. Сычев В. Г., Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования. *Агрохимия*. 2020;(6):3–13. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125> EDN: POXVQI
2. Жевора С. В., Чугунов В. С., Шатилова О. Н., Анисимов Б. В. Современное состояние и прогноз производства картофеля в Российской Федерации. *Инновационные технологии селекции и семеноводства картофеля: Междунар. научн.-практ. конф. М.: ФГБНУ ВНИИКСХ, 2017. С. 20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29389195> EDN: YTDFKN*
3. Марченко А. В. Проблемы эффективного производства картофеля в Пермском крае. *Московский экономический журнал*. 2019;(9):303–308. DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-19051> EDN: EXMMYB
4. Шабанов А. Э., Киселев А. И., Федотова Л. С., Тимохина Н. А., Князева Е. В. Оценка перспективных сортов картофеля отечественной селекции в агроэкологических условиях центрального региона России. *Плодородие*. 2020;(2):66–69. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.20> EDN: SQCDPT
5. Гольдштейн В.Г., Дегтярев В.А., Коваленок В.А., Семенова А.В., Морозова А.А. Определение пригодности различных сортов картофеля (*Solanum tuberosum* L.) с белой и пигментированной мякотью для переработки на картофелепродукты. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(1):98–109. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109> EDN: WDTPET
6. Синцова Н. Ф., Лыскова И. В., Кратюк Е. И., Архипов В. М. Оценка гибридов картофеля по динамике накопления урожайности и содержанию крахмала в клубнях в агроэкологических условиях Волго-Вятского региона. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(4):423–432. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432> EDN: ZBGYZH
7. Чухина О. В., Жуков Ю. П. Урожайность и качество клубней картофеля при применении удобрений в Волгоградской области. *Агрохимия*. 2014;(6):29–34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21707272> EDN: SHANMT
8. Ямалтдинова В. Р., Фомин Д. С., Шишков Д. Г. Влияние длительного применения удобрений на азотный режим дерново-подзолистой почвы и урожайность картофеля (*Solanum Tuberosum* L.). *Проблемы агрохимии и экологии*. 2019;(1):10–13. DOI: <https://doi.org/10.26178/AE.2019.52.19.002> EDN: VZCPVD
9. Убугунов Л. Л., Меркушева М. Г., Будаев Б. Х. Влияние возрастающих доз калийных удобрений на урожайность, качество, сохранность картофеля и динамику обменного калия в орошаемых каштановых почвах Забайкалья. *Агрохимия*. 2005;(3):44–54. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9136370> EDN: HRYFKL
10. Якименко В. Н. Влияние калийных удобрений на урожайность и качество клубней картофеля в лесостепи Западной Сибири. *Агрохимия*. 2017;(9):39–48. DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002188117090046> EDN: ZEUKDR
11. Прокошев В. Н., Дерюгин И. П. Калий и калийные удобрения. М.: Ледум, 2000. 185 с.

References

1. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrokimiya*. 2020;(6):3-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
2. Zhevara S. V., Chugunov V. S., Shatilova O. N., Anisimov B. V. Current state and forecast of potato production in the Russian Federation. Innovative technologies for selection and seed production of potatoes: International scientific-practical conf. Moscow: *FGBNU VNIKKh*, 2017. p. 20. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29389195>
3. Marchenko A. V. The problem of effective production of the potato in the Perm region. *Moskovskiy ekonomicheskii zhurnal* = Moscow journal. 2019;(9):303-308. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-19051>
4. Shabanov A. E., Kiselev A. I., Fedotova L. S., Timokhina N. A., Knyazeva E. V. Evaluation of promising potato varieties of domestic selection in agroecological conditions of the central region of Russia author details. *Plodorodie*. 2020;(2):66-69. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2020.113.20>
5. Goldstein V. G., Degtyarev V. A., Kovalenok V. A., Semenova A. V., Morozova A. A. Determination of suitability of different potato (*Solanum tuberosum* L.) varieties with white and pigmented pulp for processing into potato products. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(1):98-109. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.98-109>
6. Sintsova N. F., Lyskova I. V., Kratyuk E. I., Arkhipov V. M. Evaluation of potato hybrids by the dynamics of accumulation of yield and starch content in tubers in agro-ecological conditions of the Volga-Vyatka region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2022;23(4):423-432. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.4.423-432>
7. Chukhina O. V., Zhukov Yu. P. Yield and quality of potato tubers at the application of fertilizers in the Vologda oblast. *Agrokimiya*. 2014;(6):29-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21707272>
8. Yamaltdinova V. R., Fomin D. S., Shishkov D. G. The influence of long-term application of fertilizers on nitrogen regime of soddy-podzolic soil and yield of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Problemy agrokimii i ekologii*. 2019;(1):10-13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26178/AE.2019.52.19.002>
9. Ubugunov L. L., Merkusheva M. G., Budaev B. Kh. The effect of increasing rates of potassium fertilizers on the yield, quality, and storage stability of potatoes and the dynamics of exchangeable potassium in irrigated chestnut soils of the Transbaikalia. *Agrokimiya*. 2005;(3):44-54. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9136370>
10. Yakimenko V. N. Effect of potassium fertilizers on yield and quality of potato tubers in the forest-steppe of Western Siberia. *Agrokimiya*. 2017;(9):39-48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S0002188117090046>
11. Prokoshev V. N., Deryugin I. P. Potassium and potassium fertilizers. Moscow: Ledum, 2000. 185 p.

Сведения об авторах

✉ **Завьялова Нина Егоровна**, доктор биол. наук, главный научный сотрудник лаборатории агротехнологий, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, ул. Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4005-8998>, e-mail: nezavyalova@gmail.com

Шишков Данил Глебович, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, ул. Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>

Иванова Ольга Викторовна, младший научный сотрудник лаборатории прецизионных технологий в сельском хозяйстве, Пермский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБУН Пермский федеральный исследовательский центр Уральского отделения Российской академии наук, д. 12, ул. Культуры, с. Лобаново, Пермский край, Российская Федерация, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru

Information about the authors

✉ **Nina E. Zavyalova**, DSc in Biology, chief researcher, the Laboratory of Agrotechnologies, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury str., Lobanovo village, Perm Krai, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4005-8998>, e-mail: nezavyalova@gmail.com

Danil G. Shishkov, junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury str., Lobanovo village, Perm Krai, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6869-9722>

Olga V. Ivanova, junior researcher, the Laboratory of Precision Technologies in Agriculture, Perm Agricultural Research Institute – branch of the Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences, 12, Kultury str., Lobanovo village, Perm Krai, Russian Federation, 614532, e-mail: pfperm@mail.ru

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние биопрепарата с наночастицами железа на активность почвенных ферментов и урожайность картофеля

© 2023. Н. А. Любимова ✉, Г. Ю. Рабинович

ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», г. Москва, Российская Федерация

В работе представлены данные трехлетних исследований (2020-2022 гг.) по влиянию жидкофазного биопрепарата, содержащего наночастицы железа (ЖФБ-Fe), полученные методом биосинтеза с использованием экстракта зеленого чая, на урожайность картофеля сорта Скарб и активность почвенных ферментов в условиях Тверской области. Сравнительную эффективность ЖФБ-Fe, исходного биопрепарата ЖФБ, раствора наночастиц железа Fe НЧ изучали в полевых условиях на фоне внесения NPK. Результаты показали, что максимальная продуктивность (669,1 г/куст) картофеля была получена при некорневой обработке вегетирующих растений 1%-ным раствором ЖФБ-Fe – на 16,9 % выше контрольного варианта (фон NPK). При раздельном применении растворов 1%-го ЖФБ и 1%-го Fe НЧ продуктивность составила 628,4 и 550,6 г/куст соответственно, что свидетельствует об усилении их воздействия на растения картофеля при совместном использовании в составе ЖФБ-Fe. Было отмечено, что активность инвертазы коррелировала с содержанием гумуса в почве, а активность протеазы – с содержанием легкогидролизуемого азота. Кроме того, исследование активности ферментов в почве под картофелем (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, целлюлазы и протеазы) показало, что они оказывают существенное влияние на урожайность картофеля на разных этапах вегетации при различных технологических приемах применения биопрепаратов. Так, например, при обработке клубней картофеля на стадии всходов была обнаружена обратная зависимость между активностью каталазы в почве и урожайностью: чем выше активность фермента, тем ниже урожайность ($r = -0,82$). В случае целлюлазы при этом же технологическом приеме, наоборот, наблюдается прямая зависимость: чем выше активность фермента в почве на стадии всходов, тем больше урожайность ($r = 0,72$). Таким образом, при воздействии на почву и растения Fe-содержащими биопрепаратами изменяется активность ферментов, отвечающих за превращение основных биогенных элементов (углерод и азот) и окислительно-восстановительные процессы, происходящие в почве, что, в конечном итоге, приводит к изменению почвенного плодородия – либо к снижению, либо к повышению урожайности сельскохозяйственных культур.

Ключевые слова: биопрепарат ЖФБ, каталаза, дегидрогеназа, инвертаза, протеаза, целлюлаза

Благодарности: В 2020-2021 гг. исследования выполнялись при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ ФИЦ «Почвенный институт им. В.В. Докучаева» (тема № 0651-2019-0007), в 2022 г. дальнейшие этапы исследований продолжены при финансовой поддержке Российского научного фонда (грант № 22-76-00016).

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

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Любимова Н. А., Рабинович Г. Ю. Влияние биопрепарата с наночастицами железа на активность почвенных ферментов и урожайность картофеля. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):417-429.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.417-429>

Поступила: 03.04.2023

Принята к публикации: 01.06.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Effect of a biological product with iron nanoparticles on the activity of soil enzymes and potato yields

© 2023. Nadezhda A. Lyubimova ✉, Galina Yu. Rabinovich

Federal Research Centre V. V. Dokuchaev Soil Science Institute, Moscow, Russian Federation

The paper presents data on a three-year study (2020-2022) of the effect of a liquid-phase biological product containing iron nanoparticles (LPB-Fe), obtained by biosynthesis using green tea extract, on the yield of potatoes of the Skarb variety and the activity of soil enzymes under the conditions of Tverskaya areas. Comparative efficiency of LPB-Fe, the original LPB biopreparation, solution of iron nanoparticles Fe NPs was studied in the field against the background of NPK application. The results showed that the maximum productivity (669.1 g/bush) of potatoes was obtained by foliar treatment of vegetative plants with a 1% solution of LPB-Fe – 16.9 % more than the control variant (NPK background). With the separate use of a 1% solution of LPB and a 1% solution of Fe NPs, the productivity was 628.4 and 550.6 g/plant, respectively, which indicates an increase in their impact on potato plants when used together as part of LPB-Fe. It was noted that the activity of invertase correlated with the content of humus in the soil, and the activity of the protease correlated with the content of readily hydrolysable nitrogen. In addition, the study of the activity of enzymes in the soil under potatoes (catalase, dehydrogenase, invertase, cellulase and protease) showed that they have a significant impact on the yield of potatoes at different stages of the growing season with various technological methods of using biological preparations. For example, when treating potato tubers at the seedling stage, an inverse relationship was found between catalase activity in the soil and yield: the higher the enzyme activity, the lower the yield (correlation coefficient is -0.82). And in the case of cellulase, with the same technological method, on the contrary, a direct dependence is observed: the higher the activity of the enzyme in the soil at the seedling stage, the greater the yield (correlation

coefficient is 0.72). Thus, when soil and plants are exposed to Fe-containing biological products, the activity of enzymes responsible for the transformation of the main biogenic elements (carbon and nitrogen) and redox processes occurring in the soil changes, which ultimately leads to a change in soil fertility and, therefore, either decrease or increase of crop yields.

Keywords: LPB biological product, catalase, dehydrogenase, invertase, protease, cellulase

Acknowledgments: In 2020-2021 the studies were 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 V. V. Dokuchaev Soil Science Institute (theme No. 0651-2019-0007), in 2022 further stages of the research were continued under the financial support of the Russian Science Foundation (grant No. 22-76-00016).

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

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

For citations: Lyubimova N. A., Rabinovich G. Yu. Effect of a Biological Product with Iron Nanoparticles on the Activity of Soil Enzymes and Potato Yields. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):417-429. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.417-429>

Received: 03.04.2023 Accepted for publication: 01.06.2023 Published online: 28.06.2023

Картофель – это одна из наиболее распространенных сельскохозяйственных культур, возделываемых на территории России. Согласно данным Минсельхоза¹, в 2022 году валовая урожайность картофеля составила 7,2 млн т, что на 9 % выше по сравнению с урожаем 2021 года (6,6 млн т). Для получения высокого и качественного урожая картофеля в почву необходимо дозировано вносить минеральные удобрения, которые должны быть доступны растениям в определенные сроки вегетации [1, 2]. Однако использование необоснованно высоких доз минеральных удобрений приводит к негативным последствиям для почвенного плодородия – повышению кислотности, изменению видового состава почвенных организмов, нарушению круговорота веществ и структуры почвы [3].

Неблагоприятное воздействие средств химизации на почву снижается при применении биопрепаратов, которые можно использовать как совместно с минеральными удобрениями, что позволяет снизить их дозировку, так и без них [4]. Результаты различных исследований показали, что использование биопрепаратов позволяет не только повысить урожайность картофеля, но и качество получаемой продукции [5, 6, 7].

Помимо биопрепаратов в качестве стимуляторов роста растений также используются железосодержащие препараты. Железо является необходимым микроэлементом для растений и играет очень важную роль в процессах обмена веществ, синтеза ДНК, фотосинтеза, дыхания, является одним из компонентов жизненно важных ферментов, таких как цитохромы. Несмотря на то, что железо занимает четвертое место по распространенности в почве, чаще всего оно находится в формах, недоступных для растений [8].

Следовательно, внесение Fe (в том числе и в наноформе) является одним из возможных способов оптимизации урожайности сельскохозяйственных культур [9, 10]. В работе [11] было показано, что после обработки почвы раствором, содержащим наночастицы железа в дозе 500 мг железа/кг, биомасса растений резуховидки Таля (*Arabidopsis thaliana* L.) увеличилась на 38 % за счет усиления фотосинтеза, что было подтверждено данными исследования системы газообмена, соотношения изотопов углерода и анализом содержания хлорофилла [11].

Цель исследований – изучить влияние жидкофазного биопрепарата, содержащего в своем составе наночастицы железа (ЖФБ-Fe), на ферментативную активность почвы и урожайность картофеля сорта Скарб.

Научная новизна – впервые был применен жидкофазный биопрепарат с наночастицами железа (ЖФБ-Fe) при возделывании картофеля сорта Скарб и получены экспериментальные данные по его влиянию на урожайность картофеля и ферментативную активность почвы.

Материал и методы. Объекты исследований – растения картофеля сорта Скарб, обработанные жидкофазным биопрепаратом ЖФБ-Fe, содержащем в своем составе наночастицы железа; ферментативная активность почвы под картофелем.

Картофель сорта Скарб включен в Госреестр РФ по Северо-Западному и Центральному регионам. Среднеспелый, столового назначения. Товарная урожайность 25,3-41,1 т/га, максимальная – 50,8 т/га. Клубень овальный, с очень мелкими глазками. Кожура гладкая, желтая. Мякоть желтая. Масса товарного клубня 94-138 г. Содержание крахмала 10,8-17,7 %. Вкус хороший.

¹Картофель и овощи, господдержка и кредитование. [Электронный ресурс].

URL: <https://specagro.ru/news/202301/v-rossii-sbor-kartofelya-v-tovarnom-sektore-v-2022-godu-prevysil-7-mln-t?ysclid=li7nb3qtd6222057091> (Дата обращения: 23.03.2023).

Товарность 84-99 %, лежкость 88-99 %. Устойчив к возбудителю рака картофеля и золотистой картофельной цистообразующей нематодой. По данным ВНИИ фитопатологии, восприимчив к возбудителю фитофтороза по ботве и клубням. По данным оригинатора, устойчив к морщинистой, полосчатой мозаике. Ценность сорта: нематодоустойчивость, высокая урожайность, выравненность клубней, высокий выход товарных клубней и их лежкость².

Синтез наночастиц железа осуществляли с использованием экстракта коммерчески доступного зеленого чая торговой марки «Принцесса Ява. Традиционный» производства ООО «НПП», который содержит большое количество полифенолов, способных восстанавливать ионы металлов [12].

Для получения наночастиц железа 0,1 М раствор сульфата железа (II) смешали с экстрактом чая (5 г чайных листьев на 100 мл воды нагрели на водяной бане при 80 °С в течение 20 минут) в объемном соотношении 1:1 и оставили на 24 часа при температуре 55 °С в термостате. В процессе синтеза наночастиц было зафиксировано изменение pH растворов с 5,1 до 2,4, что, наряду с появлением хлопьевидного осадка и изменением цвета раствора с желто-зеленого на черный, свидетельствовало о формировании наночастиц железа. Подобные изменения были отмечены другими авторами, которые также указывают на формирование наночастиц железа или оксида железа при использовании экстракта зеленого чая в качестве восстановителя [13, 14, 15]. Для завершения реакции, а также для получения порошка, содержащего наночастицы железа, после инкубации раствор выпаривали при 105 °С в течение 6 часов.

Наночастицы были введены в готовый жидкофазный биопрепарат (ЖФБ) для усиления его полифункциональных свойств в дозе 10 мг порошка на 100 мл ЖФБ. Таким образом был сформирован и использован в исследованиях новый биопрепарат ЖФБ-Fe. В основе технологии получения ЖФБ лежит ферментационно-экстракционная технология преобразования органического сырья (навоз КРС) с включением стимуляторов различной природы. В зависимости от состава исходного сырья численность агрономически полезной микрофлоры ЖФБ варьируется от $n \cdot 10^9$ до $n \cdot 10^{12}$ КОЕ/мл, содержание P_2O_5 – до 10,0, K_2O – до 9,5 г/л. В составе ЖФБ присутствуют другие макро- и микроэлементы, гумусовые кислоты, аминокислоты, сахара [16, 17].

Полученный биопрепарат ЖФБ-Fe, а также ЖФБ исследовали общепринятым микробиологическим методом предельных разведений, повторность опытов двукратная.

Полевые опыты по выращиванию картофеля сорта Скарб проводили на агрополигоне Губино Всероссийского НИИ мелиорированных земель (Тверская обл.) в 2020-2022 гг. Почва на опытных участках дерново-подзолистая легкосуглинистая, среднекислая (pH_{KCl} 4,8-5,0), с содержанием гумуса 2,1-2,5 % (по Тюрину), P_2O_5 – 176-190 мг/кг (по Кирсанову), K_2O – 234-247 мг/кг (по Кирсанову), легкогидролизуемого азота ($N_{лг}$) – 35-38 мг/кг (по Тюрину и Кононовой). Технология возделывания картофеля, принятая для культуры. В качестве фона основного минерального удобрения вносили нитроаммофоску ($N_{65}P_{65}K_{65}$).

Исследовали следующие технологические способы применения жидкофазных биопрепаратов ЖФБ-Fe, ЖФБ и раствора наночастиц железа (Fe НЧ): обработка клубней (ОК) картофеля перед посадкой; трехкратная некорневая обработка (НО) вегетирующих растений в фазы «всходы», «бутонизация» и «цветение»; совмещение указанных приемов. Важно отметить, что помимо технологических приемов использования биопрепарата ЖФБ-Fe, также было исследовано влияние его различных концентраций (от 0,5 до 2,0 %) на урожайность картофеля и биохимические свойства почвы. Обработку клубней проводили за 2 часа до посадки с помощью ручного опрыскивателя (норма расхода – 50 л/т клубней). Для некорневой обработки вегетирующих растений использовались те же концентрации биопрепарата, что и для обработки клубней, при этом норма расхода составила 1 л/га. Опыты заложены в четырехкратной повторности, расположение делянок систематизированное. Общая площадь делянки – 7 м².

Для определения биохимических показателей³ (каталазная и дегидрогеназная, протеазная, инвертазная и целлюлазная активности) трижды за сезон вегетации из прикорневого слоя был асептически выполнен отбор почвенных проб на анализ. Важно отметить, что отбор проб в фазу «всходы» картофеля проводили до первой некорневой обработки вегетирующих растений. Для получения более полного представления о процессах, происходящих в почве под влиянием используемых биопрепаратов,

²Картофель Скарб. ФГБУ «Госсорткомиссия»: официальный сайт. URL: <https://reestr.gossortrf.ru/sorts/9906380/>

³Методы почвенной микробиологии и биохимии: учебное пособие. Под ред. Д. Г. Звягинцева. М.: Изд-во МГУ, 1991. 304 с.

был выполнен ряд агрохимических исследований: определено содержание гумуса (по Тюрину) и легкогидролизуемого азота (по Корнфилду).

После сбора урожая определяли биологическую урожайность картофеля и его структуру.

Погодные условия и водно-воздушный режим пахотного слоя почвы вегетационного периода (май-август) в годы исследований несколько различались. Вследствие частых дождей 2020 г. характеризовался избыточной влажностью (ГТК = 2,32), температура воздуха ниже климатической нормы. 2021 г. можно охарактеризовать как засушливый (ГТК = 0,96), температура воздуха несколько выше климатической нормы. Вегетационный период 2022 г. был слабозасушливым (ГТК = 1,28) с кратковременными дождями в конце мая, температура воздуха за весь вегетационный период отмечена выше климатической нормы.

Результаты исследований обрабатывали методами дисперсионного и корреляционного

анализов с использованием программы Microsoft Office Excel 2007. Данные в таблицах представлены в виде среднеарифметического значения (объем выборки $n = 4$). Статистическую значимость отличий анализировали с использованием t -критерия Стьюдента ($p < 0,05$). Статистическую достоверность различий урожайности и элементов структуры урожая картофеля оценивали путем проведения однофакторного дисперсионного анализа с вычислением НСР при 5%-ном уровне значимости, $n = 12$.

Результаты и обсуждение. Результаты микробиологического анализа биопрепаратов ЖФБ и ЖФБ-Fe показали, что при добавлении железа количество азоттрансформирующих микроорганизмов снижалось с $25 \cdot 10^{11}$ КОЕ/мл до $20 \cdot 10^{11}$ КОЕ/мл. При этом pH обоих препаратов остается на уровне 8,5-8,6. Однако сокращение количества полезных микроорганизмов в биопрепарате ЖФБ-Fe не привело к снижению продуктивности картофеля (табл. 1).

Таблица 1 – Влияние биопрепаратов на продуктивность картофеля сорта Скарб / Table 1 – Influence of biological preparations on the productivity of potato variety Skarb

| Вариант опыта / Variant of the experiment | Продуктивность картофеля, г/куст / Productivity of potato, g/bush | | | |
|--|--|---------|---------|----------------------|
| | 2020 г. | 2021 г. | 2022 г. | среднее / average |
| НПК (фон) – контроль / NPK (background) – control | 621,2 | 572,6 | 523,0 | 572,3 |
| Обработка клубней картофеля / Tuber treatment | | | | |
| Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 673,4 | 605,6 | 554,3 | 611,1 |
| Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 730,2 | 657,3 | 584,3 | 657,3 |
| Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | - | 643,1 | - | 643,1 |
| Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | - | 601,9 | - | 601,9 |
| Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | - | - | 536,8 | 536,8 |
| Некорневая обработка растений / Foliar treatment | | | | |
| Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 655,5 | 651,1 | 578,5 | 628,4 |
| Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe. | 686,3 | 717,3 | 603,7 | 669,1 |
| Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | - | 647,9 | - | 647,9 |
| Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB | - | 582,6 | - | 582,6 |
| Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP FT | - | - | 550,6 | 550,6 |
| Обработка клубней картофеля + некорневая обработка растений / Tuber treatment + foliar treatment | | | | |
| Фон + 1% ЖФБ + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB + 1% LPB | 660,4 | - | - | 660,4 |
| Фон + 1% ЖФБ-Fe + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe + 1% LPB-Fe | 541,3 | - | - | 541,3 |
| НСР ₀₅ (A) / LSD ₀₅ (A) | 16,1 | 13,0 | 13,9 | 14,3 |
| НСР ₀₅ (B) / LSD ₀₅ (B) | 16,1 | 14,7 | 19,7 | 16,8 |
| НСР ₀₅ / LSD ₀₅ | 27,9 | 37,0 | 27,8 | 30,9 |

Примечания: ЖФБ – исходный жидкофазный биопрепарат; ЖФБ-Fe – жидкофазный биопрепарат с наночастицами железа; Fe НЧ – раствор наночастиц железа; «-» – такого варианта не было, фактор А – биопрепарат, фактор В – технологический прием /

Notes: LPB – original liquid-phase biological product; LPB-Fe – is a liquid-phase biological product with iron nanoparticles; Fe NP – solution of iron nanoparticles, «-» – there was no such option, factor A – biological product, factor B – technological method

В первый год исследования все препараты применяли в единой концентрации и дозе, рекомендованной для препарата ЖФБ, при этом регулировались технологические приемы: обработка клубней, опрыскивание по листу и совмещение двух этих приемов. Последний прием показал значительное ингибирующее действие на развитие картофеля и его продуктивность снизилась на 14,8 % по сравнению с контролем. В аналогичном варианте с применением исходного ЖФБ ингибирования роста растений не отмечали, поэтому в дальнейшем данный прием исключили из схемы опыта. В 2021 г. диапазон исследуемых концентраций препарата ЖФБ-Fe был расширен как для обработки клубней, так и для некорневой обработки. Увеличение концентрации биопрепарата до 2 % способствовало росту продуктивности растений всего на 5,1 % (к контрольному варианту) при обработке клубней и на 1,7 % при некорневой обработке растений. Вероятно, такое количество железа является избыточным для картофеля, что приводит к нарушению определяющих метаболических и физиологических процессов растений, а, следовательно, и к снижению величины прибавки урожая.

Наибольшая урожайность за три года исследования была получена от применения 1%-го ЖФБ-Fe: при обработке клубней прирост продуктивности относительно контрольного варианта составил 14,9 %, при некорневой обработке растений – 16,9 %. Обработка клубней 1%-ным ЖФБ привела к увеличению продуктивности на 6,8 %, а опрыскивание растений картофеля – на 9,8 % в среднем за три года. Важно отметить, что прирост продуктивности картофеля в варианте с использованием 1%-го ЖФБ-Fe сформировался за счет увеличения количества товарных клубней с 1 куста (6 в контрольном варианте, 7-8 – в опытном), тогда как средняя масса клубней за три года исследований была практически одинаковой (масса средних клубней составила 65-70 г, крупных – 130-140 г). Увеличение продуктивности в вариантах с применением биопрепарата ЖФБ-Fe, вероятно, связано с тем, что железо в наноформе, полученное в результате биосинтеза, способно быстрее проникать в растительный организм и участвовать во многих фундаментальных физиологических процессах растений, таких как биосинтез хлорофилла, дыхание и окислительно-восстановительные реакции. Разницу в продуктивности картофеля при использовании различных приемов можно

объяснить тем, что при обработке клубней наночастицы железа, попадая в почву, частично переходят в форму, менее доступную для растений, следовательно, некорневая обработка вегетирующих растений является предпочтительным приемом использования биопрепарата ЖФБ-Fe.

В 2022 г. для выявления синергетического воздействия разработанного препарата ЖФБ-Fe в схему опыта включили обработку клубней и вегетирующих растений раствором синтезированных наночастиц железа (Fe НЧ). При использовании только наночастиц железа продуктивность увеличилась на 5,3 % при некорневой обработке растений и на 2,6 % при обработке клубней. Таким образом, при использовании ЖФБ-Fe наблюдается явное усиление (синергизм) от действия компонентов препарата на растения картофеля, выраженное в существенной прибавке продуктивности относительно контрольного варианта.

Одним из факторов повышения урожайности сельскохозяйственных культур является ферментативная активность почвы под ними. Ранее было показано, что обработка растений различными биосредствами, в том числе и ЖФБ, по листу способствует увеличению численности почвенных микроорганизмов, что связано как с непосредственным попаданием препаратов в почву во время обработки, так и с корневыми выделениями обработанных растений [18]. Следовательно, такая взаимосвязь может наблюдаться и для ферментов. Ниже представлены данные по влиянию используемых биопрепаратов на активность почвенных ферментов под картофелем: каталазы, дегидрогеназы, протеазы, инвертазы и целлюлазы. Эти ферменты были выбраны для анализа, так как именно их активность непосредственно связана с окислительно-восстановительными процессами в почве, а также с превращениями углерода и азота, что, в конечном итоге, влияет на урожайность сельскохозяйственных культур. В связи с этим, для каждого фермента был рассчитан коэффициент корреляции (r) между активностью фермента и урожайностью.

Значения показателей каталазной активности почвы под картофелем при различных технологических приемах применения биопрепаратов ЖФБ и ЖФБ-Fe за три года исследований представлены в таблице 2. Как видно из полученных данных, биопрепарат ЖФБ-Fe не повлиял на активность каталазы в почве под картофелем. Возрастание активности фермента

на стадии «бутонизация-цветение» свидетельствует об интенсивной минерализации гумусовых веществ почвы для обеспечения элементами питания картофеля. Однако снижение активности каталазы на стадии «отмирание ботвы» говорит об обратном процессе формирования гумуса, что позволяет поддержать его баланс в почве. Расчет коэффициента корреляции показал, что при обработке клубней

картофеля в фазы «всходы» и «бутонизация-цветение» наблюдается сильная обратная зависимость между активностью каталазы и продуктивностью картофеля: чем выше активность каталазы на этих стадиях, тем ниже продуктивность картофеля. При некорневой обработке растений на стадии «всходы» также отмечена обратная корреляционная связь между активностью каталазы и продуктивностью картофеля.

Таблица 2 – Влияние биопрепаратов на каталазную активность почвы под картофелем сорта Скарб, см³О₂/1 г почвы/мин / Table 2 – The effect of biological products on the catalase activity of the soil under the potato variety Skarb, cm³O₂/1 g soil/min

| Год / Year | Вариант опыта / Variant of the experiment | Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes | | |
|--|---|---|--|-----------------------------------|
| | | всходы / seedling | бутонизация-цветение / budding -flowering. | отмирание ботвы / haulm dying off |
| 2020 | | 0,13±0,04 | 0,13±0,04 | 0,10±0,01 |
| 2021 | NPK (фон) – контроль / NPK (background) – control | 0,20±0,04 | 0,65±0,14 | 0,67±0,31 |
| 2022 | | 0,25±0,17 | 0,61±0,15 | 0,32±0,03 |
| Обработка клубней картофеля / Tuber treatment | | | | |
| 2020 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,12±0,01 | 0,13±0,01 | 0,11±0,02 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,10±0,03 | 0,15±0,02 | 0,12±0,04 |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,16±0,04 | 0,76±0,04* | 0,59±0,01 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 0,13±0,04 | 0,67±0,03 | 0,64±0,22 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,22±0,01 | 0,67±0,14 | 0,57±0,11 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,18±0,07 | 0,63±0,07 | 0,53±0,01 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,37±0,08 | 0,65±0,35 | 0,30±0,03 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,41±0,20* | 0,74±0,04* | 0,38±0,11 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,55±0,07* | 0,79±0,03* | 0,28±0,01 |
| <i>r</i> | | -0,82 | -0,78 | -0,22 |
| Некорневая обработка растений / Foliar treatment | | | | |
| 2020 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,05±0,03 | 0,13±0,04 | 0,10±0,03 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,11±0,07 | 0,19±0,01 | 0,15±0,02 |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,20±0,11 | 0,73±0,17* | 0,51±0,19 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 0,14±0,02 | 0,63±0,001 | 0,49±0,22 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,15±0,01 | 0,68±0,02 | 0,62±0,01 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,05±0,04 | 0,67±0,02 | 0,44±0,34 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,33±0,03 | 0,54±0,01 | 0,35±0,13 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,35±0,02 | 0,65±0,001 | 0,34±0,03 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,34±0,08 | 0,57±0,03 | 0,44±0,04 |
| <i>r</i> | | -0,54 | -0,25 | 0,01 |

Примечания: *r* – коэффициент корреляции между активностью каталазы почвы и продуктивностью картофеля / Notes: *r* – correlation coefficient between soil catalase activity and potato yield,

* статистически достоверные результаты ($p < 0,05$) / * statistically significant results ($p < 0.05$)

В случае дегидрогеназной активности почвы (табл. 3) при применении биопрепаратов на стадии «бутонизация-цветение» наблюдалось либо повышение ее активности, либо снижение, в фазу «отмирание ботвы» активность

дегидрогеназы возростала, за небольшим исключением, практически везде, что, учитывая антибатность этого фермента по отношению к каталазе, свидетельствовало о тенденции к гумусонакоплению.

Таблица 3 – Влияние биопрепаратов на активность дегидрогеназы почвы под картофелем сорта Скарб, мг ТФФ/1 г/24 часа /

Table 3 – Influence of biological preparations on the activity of soil dehydrogenase under potato variety Skarb, mg TPP/1 g/24 hours

| Год / Year | Вариант опыта / Variant of the experiment | Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes | | |
|--|---|---|--|-----------------------------------|
| | | всходы / seedling | бутонизация-цветение / budding-flowering | отмирание ботвы / haulm dying off |
| 2020 | NPK (фон) – контроль / NPK (background) – control | 2,41±0,30 | 3,25±0,71 | 1,95±0,42 |
| 2021 | | 7,44±3,99 | 7,65±0,77 | 3,89±0,52 |
| 2022 | | 3,33±0,51 | 3,32±0,65 | 3,82±0,17 |
| Обработка клубней картофеля / Tuber treatment | | | | |
| 2020 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 2,03±0,66 | 5,42±0,22* | 6,07±0,85* |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 1,11±0,08 | 4,07±0,12 | 4,25±0,47* |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 7,95±1,91 | 5,20±1,78 | 9,50±0,99* |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 8,73±2,20* | 7,78±2,90 | 4,57±1,21 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 8,91±3,55* | 4,80±2,52 | 7,12±0,11* |
| 2022 | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 6,57±0,08 | 3,42±0,20 | 6,99±1,98* |
| | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 6,23±1,02* | 4,04±0,33 | 4,91±0,57* |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 3,54±0,31 | 4,17±0,34 | 4,04±0,42 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 4,48±0,51 | 4,96±0,15* | 3,14±0,56 |
| | <i>r</i> | -0,30 | 0,16 | 0,14 |
| Некорневая обработка растений / Foliar treatment | | | | |
| 2020 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 1,11±0,08 | 4,07±0,28 | 6,84±0,74* |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 1,27±0,37 | 6,84±1,41* | 7,58±0,96* |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 7,25±0,16 | 5,48±1,80* | 7,66±1,96* |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 6,82±0,27 | 4,82±0,83 | 6,10±0,48* |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 5,84±0,87 | 6,01±0,90 | 8,01±2,34* |
| 2022 | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 5,52±0,93 | 9,13±1,07* | 4,89±1,98 |
| | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 3,39±0,59 | 4,83±0,43 | 7,92±0,16* |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 2,99±0,41 | 5,00±0,08 | 6,68±0,16* |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 4,02±0,07 | 4,96±0,57 | 6,27±1,29* |
| | <i>r</i> | 0,04 | -0,02 | 0,52 |

Примечания: *r* – коэффициент корреляции между активностью дегидрогеназы почвы и урожайностью картофеля; * статистически достоверные результаты ($p < 0,05$) /

Notes: *r* is the correlation coefficient between soil dehydrogenase activity and potato yield; * statistically significant results ($p < 0.05$)

В отличие от каталазы при обработке клубней картофеля биопрепаратом ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы существенно изменялась, причем как в большую, так и в меньшую сторону. Так, в первый и третий годы исследований при обработке клубней картофеля ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы на этапе всходов снизилась почти в 2 раза

по сравнению с вариантом ЖФБ. Тогда как в 2021 году при обработке клубней картофеля 0,5- и 1%-ными растворами ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы повысилась на 0,78 и 0,96 мг ТФФ/г/24 ч соответственно, а при повышении концентрации этого биопрепарата до 2 %, наоборот, снизилась на 1,38 мг ТФФ/г/24 ч. При этом после первой (фаза «бутонизация-

цветение») некорневой обработки растений 2%-ным ЖФБ-Fe активность дегидрогеназы увеличилась в 1,7 раза, в других вариантах таких резких изменений не наблюдалось.

Наиболее выраженная прямая зависимость продуктивности от активности дегидрогеназы наблюдается при некорневой обработке растений в конце сезона вегетации (фаза «отмирание ботвы»), тогда как в остальных случаях существенных взаимосвязей не выявлено.

Таблица 4 – Содержание гумуса и активность инвертазы почвы при применении биопрепаратов на картофеле сорта Скарб, мг глюкозы/1 г почвы/24 часа / Table 4 – The content of humus and the activity of soil invertase in the application of biopreparations on potato variety Skarb, mg glucose/1 g soil/24 hours

| Год / Year | Вариант опыта / Variant of the experiment | Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes | | | Содержание гумуса, % / Humus content, % |
|--|--|---|--|-----------------------------------|---|
| | | всходы / seedling | бутонизация-цветение / budding-flowering | отмирание ботвы / haulm dying off | |
| 2021 | НРК (фон) – контроль / | 0,34±0,18 | 0,62±0,09 | 0,26±0,07 | 2,5 |
| 2022 | НРК (background) –control | 0,57±0,11 | 0,65±0,09 | 0,66±0,03 | 2,6 |
| Обработка клубней картофеля / Tuber treatment | | | | | |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,46±0,08 | 0,69±0,30 | 0,18±0,03 | 2,1 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 0,56±0,25* | 0,58±0,08 | 0,19±0,007 | 2,8 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,40±0,05 | 0,72±0,14 | 0,19±0,01 | 2,4 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,21±0,07 | 0,61±0,03 | 0,17±0,01 | 2,1 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,58±0,05 | 0,98±0,20* | 0,72±0,09 | 2,3 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,54±0,09 | 0,61±0,04 | 0,58±0,16 | 2,2 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,36±0,09 | 0,44±0,06 | 0,51±0,11 | 2,6 |
| <i>r</i> | | -0,01 | 0,00 | -0,78 | - |
| Некорневая обработка растений / Foliar treatment | | | | | |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,26±0,09 | 0,56±0,03 | 0,20±0,06 | 2,3 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 0,39±0,16 | 0,63±0,19 | 0,21±0,01 | 2,0 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,39±0,16 | 0,92±0,11* | 0,22±0,01 | 2,5 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,26±0,20 | 0,79±0,13* | 0,21±0,02 | 2,1 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,55±0,05 | 0,79±0,26* | 0,53±0,03 | 2,0 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,53±0,07 | 0,87±0,25* | 0,66±0,09 | 2,1 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,57±0,06 | 0,59±0,12 | 0,64±0,12 | 2,5 |
| <i>r</i> | | -0,45 | -0,22 | -0,65 | - |

Примечания: *r* – коэффициент корреляции между активностью инвертазы почвы и урожайностью картофеля; * – статистически достоверные результаты ($p < 0,05$) / Notes: *r* – is the correlation coefficient between soil invertase activity and potato yield, * – statistically significant results ($p < 0.05$)

При варьировании концентрации ЖФБ-Fe уже на стадии всходов при использовании приема обработки клубней картофеля была обнаружена зависимость активности инвертазы от концентрации биопрепарата – чем выше концентрация, тем меньше активность фермента.

Результаты изучения активности инвертазы почвы в зависимости от технологического приема применения биопрепаратов на различных этапах вегетации растений картофеля представлены в таблице 4. При обработке вегетирующих растений во всех вариантах максимальные значения активности инвертазы наблюдаются в фазы «бутонизация-цветения», т. е. после первой некорневой обработки.

Важно отметить, что на этой стадии развития культуры активность инвертазы коррелировала с содержанием гумуса в почве: чем больше гумуса, тем выше активность инвертазы ($r = 0,99$). В фазы «бутонизация-цветение» максимальные значения активности инвертазы

были получены при обработке клубней 1%-ным ЖФБ-Fe, тогда как при некорневой обработке растений картофеля наблюдалась противоположная зависимость активности инвертазы от концентрации биопрепарата по сравнению с обработкой клубней: с ростом концентрации препарата активность повышалась. При этом активность инвертазы коррелировала с содержанием гумуса почвы ($r = 0,92$).

Помимо содержания гумуса активность инвертазы в большей или меньшей степени коррелировала с урожайностью картофеля. При

обработке клубней картофеля наблюдалась сильная обратная зависимость урожайности от активности инвертазы на стадии отмирания ботвы. В случае некорневой обработки растений зависимость урожайности от активности инвертазы также была отрицательной, причем максимальный коэффициент корреляции ($-0,65$) отмечали в конце сезона. Таким образом, чем выше была активность инвертазы на стадии отмирания ботвы, тем ниже была урожайность картофеля.

Результаты исследования активности целлюлазы за два года даны в таблице 5.

Таблица 5 – Активность целлюлазы почвы при применении биопрепаратов на картофеле сорта Скарб, мг глюкозы/1 г почвы/ 24 часа /

Table 5 – Soil cellulase activity during the application of biopreparations on potatoes of the Skarb variety, mg glucose/1 g soil/24 hours

| Год / Year | Вариант опыт / Variant of the experiment | Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes | | |
|--|--|--|---|---|
| | | всходы / seedling | бутионизация- цветение / budding-flowering. | отмирание ботвы / haulm dying off |
| 2021 | НРК (фон) – контроль / | 0,023±0,004 | 0,021±0,001 | 0,011±0,004 |
| 2022 | НРК (background) – control | 0,019±0,003 | 0,016±0,003 | 0,011±0,001 |
| Обработка клубней картофеля / Tuber treatment | | | | |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,026±0,001 | 0,025±0,005 | 0,015±0,009 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 0,026±0,004 | 0,027±0,002 | 0,011±0,025 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,021±0,001 | 0,018±0,003 | 0,015±0,001 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,021±0,005 | 0,016±0,001 | 0,015±0,003 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,013±0,002 | 0,014±0,001 | 0,010±0,001 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,011±0,001 | 0,015±0,001 | 0,014±0,002 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,014±0,001 | 0,013±0,003 | 0,013±0,001 |
| <i>r</i> | | 0,72 | 0,67 | 0,31 |
| Некорневая обработка растений / Foliar treatment | | | | |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,026±0,003 | 0,024±0,012 | 0,015±0,001 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0.5% LPB-Fe | 0,024±0,002 | 0,024±0,003 | 0,014±0,007 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,026±0,002 | 0,015±0,003 | 0,014±0,002 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,022±0,001 | 0,013±0,002 | 0,011±0,001 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,010±0,001 | 0,016±0,003 | 0,012±0,001 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,012±0,001 | 0,018±0,003 | 0,013±0,003 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,013±0,001 | 0,016±0,005 | 0,013±0,004 |
| <i>r</i> | | 0,76 | 0,32 | 0,66 |

Примечание: *r* – коэффициент корреляции между активностью целлюлазы почвы и урожайностью картофеля /
Note: *r* – is the correlation coefficient between soil cellulase activity and potato yield

Так, при варьировании концентрации биопрепарата ЖФБ-Fe (2021 г.) активность целлюлазы в фазу «всходы» практически не изменялась в зависимости от технологического приема и концентрации биопрепарата. В то же время после некорневой обработки растений картофеля 1%-ным и 2%-ным ЖФБ-Fe активность целлюлазы снизилась в 1,6 раза по

сравнению с ЖФБ. При обработке клубней картофеля в фазу «бутионизация-цветение» активность целлюлазы также заметно снижалась с увеличением концентрации биопрепарата. В фазу «отмирание ботвы», как и в случае с другими ферментами, наблюдали снижение активности целлюлазы по сравнению с предыдущей фазой, независимо от варианта использования

биопрепаратов, что связано с падением микробного пула, обусловленного завершением активного вегетационного процесса.

Дальнейшее исследование (2022 г.) показало, что на активность целлюлазы также не влияют ни обработка клубней картофеля, ни опрыскивание растений раствором, содержащим только наночастицы железа (Fe НЧ). При этом в последний год активность целлюлазы в целом была ниже, чем в предыдущий, что, вероятно, связано с изменением погодных условий.

В отличие от инвертазы в случае целлюлазы при обоих технологических приемах

применения биопрепаратов наблюдается прямая зависимость урожайности от активности этого фермента. При этом максимальные коэффициенты корреляции (0,72 и 0,76) были получены в фазу «всходы» растений картофеля.

В фазу «всходы» активность протеазы (табл. 6) во всех вариантах практически одинаковая и не зависела от технологического приема применения и концентрации биопрепаратов, тогда как наиболее выраженную зависимость активности протеазы от концентрации ЖФБ-Fe и способа его применения наблюдали в фазу «бутонизация-цветение».

Таблица 6 – Содержание легкогидролизуемого азота и активность протеазы почвы при применении биопрепаратов на картофеле сорта Скарб, мг глицина/1 г почвы/2 часа / Table 6 – The content of readily hydrolysable nitrogen and the activity of soil protease in the application of biological preparations on potatoes of the Skarb variety, mg glycine/1 g soil/2 hours

| Год / Year | Вариант / Variant | Фаза роста и развития картофеля / Phase of growth and development of potatoes | | | Нлг, мг/кг / Neh, mg/kg |
|--|---|---|--|-----------------------------------|-------------------------|
| | | всходы / seedling | бутонизация-цветение / budding-flowering | отмирание ботвы / haulm dying off | |
| 2021 | НПК (фон) – контроль / NPK (background) - control | 0,14±0,05 | 0,16±0,11 | 0,09±0,03 | 43 |
| 2022 | НПК (фон) – контроль / NPK (background) - control | 0,12±0,02 | 0,16±0,05 | 0,11±0,01 | 44 |
| Обработка клубней картофеля / Tuber treatment | | | | | |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,17±0,09 | 0,13±0,05 | 0,14±0,05 | 28 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0,5% LPB-Fe | 0,14±0,03 | 0,07±0,03 | 0,08±0,02 | 22 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,13±0,02 | 0,10±0,01 | 0,13±0,03 | 25 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,17±0,02 | 0,11±0,01 | 0,10±0,04 | 32 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,12±0,05 | 0,11±0,01 | 0,08±0,05 | 24 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,15±0,01 | 0,11±0,01 | 0,02±0,001 | 23 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,12±0,01 | 0,24±0,05 | 0,15±0,01 | 26 |
| <i>r</i> * | | 0,21 | -0,70 | 0,04 | - |
| Некорневая обработка растений / Foliar treatment | | | | | |
| 2021 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,18±0,03 | 0,08±0,05 | 0,11±0,02 | 29 |
| | Фон + 0,5% ЖФБ-Fe / Background + 0,5% LPB-Fe | 0,16±0,05 | 0,19±0,06 | 0,11±0,01 | 37 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,17±0,05 | 0,16±0,02 | 0,08±0,001 | 31 |
| | Фон + 2% ЖФБ-Fe / Background + 2% LPB-Fe | 0,16±0,05 | 0,12±0,02 | 0,06±0,05 | 29 |
| 2022 | Фон + 1% ЖФБ / Background + 1% LPB | 0,14±0,05 | 0,22±0,01 | 0,10±0,01 | 25 |
| | Фон + 1% ЖФБ-Fe / Background + 1% LPB-Fe | 0,21±0,05 | 0,13±0,06 | 0,04±0,01 | 24 |
| | Фон + 1% Fe НЧ / Background + 1% Fe NP | 0,12±0,01 | 0,12±0,02 | 0,12±0,01 | 25 |
| <i>r</i> | | 0,44 | 0,04 | -0,05 | - |

**r* – коэффициент корреляции между активностью протеазы почвы и урожайностью картофеля / *r* – is the correlation coefficient between soil protease activity and potato yield

При некорневой обработке растений значения активности протеазы были существенно выше по сравнению с вариантами, обработанными перед посадкой. Кроме того, при обработке клубней картофеля наблюдали прямую зависимость протеазы от концентрации ЖФБ-Fe (чем больше концентрация биопрепарата, тем выше активность), а при опрыскивании растений зависимость оказалась обратной. В фазу «бутонизация-цветение» также была выявлена корреляционная связь между содержанием легкогидролизуемого азота (N_{лг}) и активностью протеазы как в случае вариантов некорневой обработки растений, так и при обработке клубней ($r = 0,89$ в обоих технологических приемах). При обработке клубней картофеля на стадии «бутонизация-цветение» наблюдалась сильная обратная корреляция между активностью протеазы и урожайностью картофеля ($r = -0,70$).

Заключение. Установлено, что по годам исследований обработка клубней картофеля сорта Скарб перед посадкой 1%-ным раствором биопрепарата ЖФБ-Fe способствовала увеличению продуктивности картофеля на 12-17 % по сравнению с контролем (фон NPK) и на 5-8 % по сравнению с вариантом ЖФБ, а опрыскивание вегетирующих растений в той же концентрации – на 10-25 % и на 4-10 % по сравнению с фоном и ЖФБ соответственно.

Применение ЖФБ по сравнению с контролем позволило увеличить урожайность картофеля на 5-14 % при опрыскивании растений и 5-8 % при обработке клубней. Следовательно, добавление наночастиц железа в биопрепарат ЖФБ усиливает его положительное влияние на урожайность картофеля.

При изучении активности ряда почвенных ферментов (каталазы, дегидрогеназы, инвертазы, протеазы и целлюлазы), отвечающих за окислительно-восстановительные процессы в почве, а также за превращения азота и углерода и накопление питательных веществ, на различных этапах вегетации растений картофеля отмечалась более высокая их активность в вариантах с использованием ЖФБ-Fe и ЖФБ как при применении данных биопрепаратов для обработки клубней картофеля перед посадкой, так и при опрыскивании вегетирующих растений. Кроме того, на различных этапах вегетации картофеля выявлены умеренно сильные и сильные корреляционные связи между активностью данных ферментов и его урожайностью. Следовательно, изменение активности ферментов дерново-подзолистой почвы при обработке растений биопрепаратами приводит к изменению почвенного плодородия, а также способствует либо снижению, либо повышению урожайности картофеля.

Список литературы

1. Щеголихина Т. А. Роль минеральных удобрений при возделывании картофеля. Научное обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса: сб. мат-лов Междунар. научн.-практ. конф., посвящ. памяти акад. РАН В. П. Зволинского и 30-летию создания ФГБНУ «ПАФНЦ РАН». Солонное Займище: Прикаспийский аграрный федеральный научный центр РАН, 2021. С. 469-471.
2. Сатункин И. В. Влияние расчётных норм удобрений и схемы посадки на качество клубней картофеля при орошении. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2018;(3(71)):87-89. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35173235> EDN: USULXC
3. Теучеж А. А. Плюсы и минусы применения минеральных удобрений. Экологический Вестник Северного Кавказа. 2021;17(1):38-43. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45602226> EDN: PXROOR
4. Курсакова В. С., Хижникова Т. Г., Зиновьева В. А. Развитие растений яровой пшеницы при использовании биопрепаратов на фоне минеральных удобрений. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2019;(3(173)):12-18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39413039> EDN: FIXKDX
5. Засорина Э. В., Веретенников Е. С. Применение комплекса «удобрения+биопрепараты+орошение» в картофелеводстве. Eurasia: Economics & Business. 2017;4(4):3-6. DOI: <https://doi.org/10.18551/econeurasia.2017-04>
6. Уромова И. П., Султанова Л. Р., Дедюра И. С. Биопрепараты как фактор повышения урожайности и качества картофеля. Успехи современного естествознания. 2016;(12):117-121. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27679376> EDN: XHSKFX
7. Николаева Ф. В., Лукина Ф. А. Использование биологических препаратов при возделывании картофеля в Якутии. Аграрная наука. 2020;(7-8):124-126. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-124-126> EDN: CVCZGY
8. Ручкин С. В., Иванищев В. В. Влияние присутствия сульфата железа в среде на формирование проростков пшеницы. Известия Тульского государственного университета. Естественные науки. 2019;(2):31-39. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38228794> EDN: EPYERG
9. Sekhon B. S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. Nanotechnology. Science and Applications. 2014;7:31-53. DOI: <https://doi.org/10.2147/NSA.S39406>

10. Пироговская Г. В., Милоста Ю. Г. Влияние комплексных удобрений с добавками железосодержащих соединений на поступление железа в почву и растения льна масличного, урожайность и качество семян. Почвоведение и агрохимия. 2020;(1(64)):190-204.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43079648> EDN: CIZSFI

11. Yoon H., Kang Y.-G., Chang Y.-S., Kim J.-H. Effects of zerovalent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. Nanomaterials. 2019;9(11):1543.

DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9111543>

12. Kuang Y., Wang Q., Chen Z., Megharaj M., Naidu R. Heterogeneous Fenton-like oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of iron nanoparticles. Journal of Colloid and Interface Science. 2013;410:67-73.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.08.020>

13. Anu Y., Vijay M. D. *Camellia sinensis* mediated synthesis of iron nanoparticles and its encapsulation for decolorization of dyes. BioChemistry: An Indian Journal. 2016;10(1):20-29. URL: <https://www.tsijournals.com/articles/camellia-sinensis-mediated-synthesis-of-iron-nanoparticles-and-its-encapsulation-for-decolorization-of-dyes.pdf>

14. Asghar M. A., Zahir E., Shahid S. M., Khan M. N., Asghar M. A., Iqbal J., Walker G. Iron, copper and silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B1 adsorption activity. LWT - Food Science and Technology. 2018;90:98-107.

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>

15. Xiao C., Li H., Zhao Y., Zhang X., Wang X. Green synthesis of iron nanoparticle by tea extract (polyphenols) and its selective removal of cationic dyes. Journal of Environmental Management. 2020;275:111262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111262>

16. Рабинович Г. Ю., Фомичева Н. В., Смирнова Ю. Д. Способ получения жидкофазного биосредства для растениеводства и земледелия: пат. № 2365568 Российская Федерация. № 2008112832/12: заяв. 02.04.2008; опубл. 27.08.2009. Бюл. №24. 3 с. Режим доступа: <http://www.freepatent.ru/patents/2365568>

17. Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д., Васильева Е. А., Фомичева Н. В. Инновационная технология для решения проблем агроэкологии. Региональная экология. 2015;(6(41)):32-40.

Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25127100> EDN: VDWGRF

18. Фомичева Н. В., Рабинович Г. Ю., Смирнова Ю. Д. Влияние некорневых обработок вегетирующих растений на микрофлору почвы. Вестник Российской сельскохозяйственной науки. 2018;(6):19-23.

DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/19-23> EDN: VNBVDI

References

1. Shchegolikhina T. A. The role of mineral fertilizers in the cultivation of potatoes. Scientific support for the sustainable development of the agro-industrial complex: Collection of works of the International. scientific-practical conf., dedicated to the memory of acad. RAS V.P. Zvolinsky and the 30th anniversary of the creation of the Federal State Budget Scientific Institution "PAFSC RAS". Solenoe Zaymishche: *Prikaspiyskiy agrarnyy federal'nyy nauchnyy tsentr RAN*, 2021. pp. 469-471.

2. Satunkin I. V. Influence of calculated rates of fertilizers and planting scheme on the quality of potato tubers in irrigation. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;(3(71)):87-89. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=35173235>

3. Teuchezh A. A. Advantages and disadvantages of the application mineral fertilizer. *Ekologicheskiy Vestnik Severnogo Kavkaza = The North Caucasus Ecological Herald*. 2021;17(1):38-43. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=45602226>

4. Kursakova V. S., Khizhnikova T. G., Zinovyeva V. A. The development of spring wheat plants with the use of biological products against the background of mineral fertilizers. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2019;(3(173)):12-18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=39413039>

5. Zazorina E. V., Veretennikov E. S. The application of the "fertilizer+biopreparation+irrigation" complex in potato growing. *Eurasia: Economics & Business*. 2017;4(4):3-6. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18551/econeurasia.2017-04>

6. Uromova I. P., Sultanova L. R., Dedyura I. S. Biological products as increase factor productivity and quality of potatoes. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya*. 2016;(12):117-121. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27679376>

7. Nikolaeva F. V., Lukina F. A. Aspects of using interspecific hybridization of goats. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2020;(7-8):124-126. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-340-7-124-126>

8. Ruchkin S. V., Ivanishchev V. V. Effect of the presence of ferrous sulfate on the formation of wheat seedlings. *Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Estestvennye nauki*. 2019;(2):31-39. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38228794>

9. Sekhon B. S. Nanotechnology in agri-food production: an overview. *Nanotechnology. Science and Applications*. 2014;7:31-53. DOI: <https://doi.org/10.2147/NSA.S39406>

10. Pirogovskaya G. V., Milosta Yu. G. The effect of complex fertilizers with the addition of iron-containing compounds on the intake of iron in the soil and oil flax plants. *Pochvovedenie i agrokhimiya*. 2020;(1(64)):190-204. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43079648>
11. Yoon H., Kang Y.-G., Chang Y.-S., Kim J.-H. Effects of zerovalent iron nanoparticles on photosynthesis and biochemical adaptation of soil-grown *Arabidopsis thaliana*. *Nanomaterials*. 2019;9(11):1543. DOI: <https://doi.org/10.3390/nano9111543>
12. Kuang Y., Wang Q., Chen Z., Megharaj M., Naidu R. Heterogeneous Fenton-like oxidation of monochlorobenzene using green synthesis of iron nanoparticles. *Journal of Colloid and Interface Science*. 2013;410:67-73. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jcis.2013.08.020>
13. Anu Y., Vijay M. D. *Camellia sinensis* mediated synthesis of iron nanoparticles and its encapsulation for decolorization of dyes. *BioChemistry: An Indian Journal*. 2016;10(1):20-29. URL: <https://www.tsijournals.com/articles/camellia-sinensis-mediated-synthesis-of-iron-nanoparticles-and-its-encapsulation-for-decolorization-of-dyes.pdf>
14. Asghar M. A., Zahir E., Shahid S. M., Khan M. N., Asghar M. A., Iqbal J., Walker G. Iron, copper and silver nanoparticles: Green synthesis using green and black tea leaves extracts and evaluation of antibacterial, antifungal and aflatoxin B1 adsorption activity. *LWT - Food Science and Technology*. 2018;90:98-107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.009>
15. Xiao C., Li H., Zhao Y., Zhang X., Wang X. Green synthesis of iron nanoparticle by tea extract (polyphenols) and its selective removal of cationic dyes. *Journal of Environmental Management*. 2020;275:111262. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111262>
16. Rabinovich G. Yu., Fomicheva N. V., Smirnova Yu. D. Method for obtaining a liquid-phase biological product for plant growing and agriculture. Patent RF no. 2365568. 2009. URL: <http://www.freepatent.ru/patents/2365568>
17. Rabinovich G. Yu., Smirnova Yu. D., Vasilieva E. A., Fomicheva N. V. An innovative technology to solve the problems of agroecology. *Regional'naya ekologiya = Regional Ecology*. 2015;(6(41)):32-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25127100>
18. Fomicheva N. V., Rabinovich G. Yu., Smirnova Yu. D. Effect of foliar treatment of vegetative plants on soil microbial flora. *Vestnik Rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki = Vestnik of the Russian agricultural science*. 2018;(6):19-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2018/6/19-23>

Сведения об авторах

✉ **Любимова Надежда Андреевна**, кандидат хим. наук, научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5831-5000>, e-mail: n.nemygina@gmail.com

Рабинович Галина Юрьевна, доктор биол. наук, профессор, заведующий отделом биотехнологий, Всероссийский научно-исследовательский институт мелиорированных земель – филиал ФГБНУ Федеральный исследовательский центр «Почвенный институт имени В. В. Докучаева», д. 27, п. Эммаусс, Калининский р-н, Тверская обл., Российская Федерация, 170530, e-mail: 2016vniimz-noo@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5060-6241>

Information about the authors

✉ **Nadezhda A. Lyubimova**, PhD in Chemical Science, researcher, 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/0000-0002-5831-5000>, e-mail: n.nemygina@gmail.com

Galina Yu. Rabinovich, DSc in Biological Science, professor, Head of the Biotechnology Department, 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/0000-0002-5060-6241>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Влияние способов обработки на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожайность культур севооборотов

© 2023. Д. А. Дементьев[✉], А. А. Фадеев

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

В условиях Чувашской Республики в многолетнем стационарном опыте изучали влияние видов севооборотов (зернопаровой и сидеральный) и способов основной обработки почв (плугом ПЛН-3-35 на 24-26 см; комбинированным агрегатом КОС-3.0 на 14-16 см; дисковым БДМ-4-3,2 на 10-12 см; без осенней обработки) на целлюлозоразлагающую активность почвы методом закладки льняных полотен и урожайность культур. В статье приводятся данные за 2016-2020 гг. Установлено, что вспашка увеличивала общую скважность почвы (55,3...63,5 %) и способствовала максимальному разложению льняных полотен (42,9...51,3 %). Отказ от основной обработки почвы приводил к статистически значимому снижению ее скважности (50,8...59,3 %) и целлюлозоразлагающей активности (36,1...43,9 %). Максимальная урожайность культур севооборота получена при их возделывании по традиционной плужной обработке почвы. При замене вспашки безотвальными обработками наилучшим вариантом было использование комбинированного стерневого культиватора КОС-3.0. Отказ от вспашки в пользу основной обработки почвы на глубину 14-16 см агрегатом КОС-3.0 привел к существенному снижению урожайности только вики яровой (на 0,29 т/га), по остальным культурам севооборота статистически значимого снижения урожайности не отмечено. При полном отказе от осенней обработки почвы потери урожайности по зерновым культурам составили от 16 до 25 %. Применение вспашки на глубину пахотного горизонта (24-26 см) в качестве основной осенней обработки почвы повысило показатели плодородия темно-серой лесной почвы (общую скважность, целлюлозоразлагающую активность) и урожайность культур севооборота. Но, при переходе на ресурсосберегающие технологии, для основной осенней обработки почвы под зерновые культуры рекомендуется использовать комбинированный агрегат – стерневой культиватор КОС-3.0.

Ключевые слова: минимальная обработки почвы, целлюлозоразлагающая способность почвы, льняные полотна, общая скважность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема FNWE-2022-0005).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Дементьев Д. А., Фадеев А. А. Влияние способов обработки на целлюлозоразлагающую активность почвы и урожайность культур севооборотов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):430-439.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.430-439>

Поступила: 19.01.2023

Принята к публикации: 30.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The effect of tillage methods on the cellulose-decomposing activity of the soil and on crop yields in crop rotations

© 2023. Dmitrii A. Dementiev[✉], Andrey A. Fadeev

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

In the conditions of the Chuvash Republic in a long-term stationary experiment there has been studied the effect of crop rotations (grain-fallow and green manure) and methods of primary tillage of soil (by the plow PLN-3-35 to the depth of 24-26 cm; by the combined unit KOS-3.0 to 14-16 cm; by the disc header BDM-4-3.2 to 10-12 cm without autumn tilling) on the cellulose-decomposing activity of the soil by the method of setting up flax linen and on the crop yield. The article provides 2016-2020 data. It has been established that plowing increased the total soil porosity (55.3...63.5 %) and provided maximum decomposing of flax linen (42.9...51.3 %). Absence of primary soil tilling led to the statistically significant decrease in the porosity (50.8...59.3 %) and cellulose-decomposing activity (36.1...43.9 %). Maximum yield of crops in crop rotation was obtained by cultivation according to traditional plowing. When replacing plowing by subsoil tillage the use of combined stubble cultivator KOS-3.0 was the best variant. Primary tillage of soil to the depth of 14-16 cm using KOS-3.0 unit instead of plowing led to the significant yield decrease (by 0.29 t/ha) of spring vetch only. Among other cultures of crop rotation there was no significant yield decrease. Complete rejection of autumn soil tillage led to 16-25 % yield loss in grain crops. Plowing to the depth of arable layer (24-26 cm) as primary autumn tillage of soil increased the fertility indicators of dark-gray wooded soil (its total porosity, cellulose-decomposing activity) and yield of cultures in crop rotation. But when changing over to resource saving technologies for primary autumn tilling of soil under grain crops the combined unit stubble cultivator KOS-3.0 should be used.

Keywords: minimum tillage, cellulose-decomposing capacity of the soil, flax linen, total porosity

Acknowledgments: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme FNWE-2022-0005).

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

Conflict of Interest: The authors have declared no conflict of interest.

For citations: Dementiev D. A., Fadeev A. A. The effect of tillage methods on the cellulose-decomposing activity of the soil and on crop yields in crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):430-439. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.430-439>

Received: 19.01.2023 Accepted for publication: 30.05.2023 Published online: 28.06.2022

Плодородие почвы напрямую зависит от ее биологической активности. Фактически – это тождественные понятия, так как плодородие, в первую очередь, основано на биохимических процессах, отвечающих за почвообразование [1]. Понятие биологической активности включает в себя множественные биологические процессы. Важнейшие из них – деятельность почвенных микроорганизмов, перерабатывающих органические и минеральные соединения, а также различных ферментов, аккумулируемых в почве и изменяющих состояние почвенной среды. Корни растений также выделяют набор органических веществ, способствующих трансформации элементов питания [2, 3]. Способов измерения биологической активности множество [4, 5, 6]. Один из них – определение целлюлозоразлагающей способности почвенных микроорганизмов. Известно, что в зависимости от степени обработки почвы изменяется и ее способность разлагать волокна целлюлозы. Однако единого мнения по изучаемому вопросу не имеется. Согласно исследованиям Е. Х. Нечаевой с соавт. [7], интенсивность разложения волокон целлюлозы снижается при поверхностной обработке почвы по сравнению с глубокой основной. Объясняется это тем, что основная часть микроорганизмов, способных переработать целлюлозу, является аэробами, а при поверхностной обработке степень аэробности почвы снижается. Близкие результаты получены в исследованиях Б. А. Смирнова с соавт. [8], в которых поверхностно-отвальная обработка дерново-среднеподзолистой почвы, в сравнении с поверхностной, способствовала усилению интенсивности разложения целлюлозы и поддержанию процессов гумификации на более высоком уровне.

Выявлено, что любые антропогенные факторы оказывают воздействие на микробиоту и биохимию почв [9, 10]. Как отмечают Н. А. Мельникова и Е. Х. Нечаева [11], количество в почве актиномицетов, активно участвующих в разложении лигнина, при уменьшении механической нагрузки на почву или её отсутствии снижается, при этом ферментативная активность почвенной микрофлоры увеличивается в сравнении со вспашкой. В этом направлении вел исследования С. В. Богомазов [12]. Стоит

отметить, что Г. К. Марковская и Н. А. Кирясова [13] выявили некоторое увеличение численности актиномицетов при минимальной обработке, а также её снижение в слое 0-10 см при прямом посеве по сравнению со вспашкой и рыхлением. Здесь важно учитывать, что интенсивность дыхания почвы (ИДП), как показатель ее биологической активности, зависит от любого воздействия на почву и значительно возрастает при интенсификации использования органических и минеральных удобрений [14, 15].

Интересно и то, что внесение извести и навоза провоцировало увеличение численности целлюлозоразлагающих микроорганизмов, а внесение минеральных удобрений, наоборот, ингибировало. Также их численность изменялась под влиянием различных культур [16]. Однако в опытах Л. В. Гринев с соавт. [17], средняя степень разложения льняного полотна в севообороте отмечена выше по нулевой технологии, чем по традиционной. Похожие данные были получены М. В. Новиковым [18].

Так как результаты исследований различных учёных не всегда совпадают, а иногда и прямо противоположны, было принято решение изучить данный вопрос в условиях Чувашской Республики.

Цель исследований – изучить влияние различных систем обработки тёмно-серой лесной почвы и видов севооборотов на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов и урожайность сельскохозяйственных культур.

Научная новизна – в процессе многолетних исследований получены новые данные по воздействию различных почвообрабатывающих орудий на активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов и урожайность сельскохозяйственных культур.

Материал и методы. Исследования проводили в 2016-2020 гг. на тёмно-серой лесной тяжелосуглинистой иловато-среднепылевой почве в условиях многолетнего стационарного опыта Чувашского НИИСХ [19, 20].

Агрохимическая характеристика почвы участка следующая: гумус (по Тюрину) – 5,6 %, подвижный фосфор – 156,3 мг/кг и обменный калий – 59,0 мг/кг почвы (по Кирсанову), сумма

поглощённых оснований (по Каппену) – 16,4 ммоль/100 г почвы, рН_{KCl} – 5,01.

Опыт двухфакторный, в трёх повторностях. Повторности размещены систематически. Общая площадь каждой элементарной делянки – 300 м² (6 м х 50 м), учетная – 200 м².

Фактор А – виды севооборотов: зернопаровой; сидеральный.

Состав культур в изучаемых севооборотах идентичный, за исключением того, что в сидеральном вместо чистого пара в качестве сидерата использовался клевер, подсеваемый к яровой пшенице. Схема севооборота: 1. Яровые зерновые (яровые зерновые с подсевом клевера). 2. Чистый пар (клеверный сидеральный пар). 3. Озимые зерновые. 4. Яровые зерновые. 5. Яровые зерновые. 6. Зернобобовые. В 2017 году завершилась вторая ротация севооборота и в 2018 году началась третья ротация.

Фактор В – способы обработки почвы: классический; комбинированный-1; комбинированный-2; без осенней обработки.

Классический способ обработки – осенняя вспашка ПЛН-3-35 на глубину 24-26 см; *комбинированный-1* – осенняя обработка в качестве основной обработки почвы комбинированным агрегатом КОС-3.0 на глубину 14-16 см; *комбинированный-2* – осенняя обработка в качестве основной обработки почвы дискатором БДМ-4-3,2 на глубину 10-12 см; *без осенней обработки* – полное отсутствие основной осенней обработки. Во всех вариантах проводили предпосевное поверхностное рыхление почвы на глубину 4-6 см комбинированным агрегатом «Паук-6».

В опытах использовали следующие комбинированные агрегаты:

- стерневой культиватор КОС-3 производства Польши. Имеет широкие стрельчатые лапы усиленного типа, позади заднего ряда лап установлены загортачи и трубчатый каток. Производит рыхление без выворачивания пласта, выравнивание, прикатывание почвы.

- «Паук-6» Пензенского завода ЗАО «Пенза-агрореммаш». Имеет усиленные культиваторные стрельчатые лапы, секции коноидальных ножевых (игольчатых) дисков и спиральный планчатый каток. Производит рыхление на глубину до 16 см, выравнивание и прикатывание.

Уборку проводили комбайном Samro 500 с оставлением неизмельчённой соломы в поле.

Степень разложения органического вещества в пахотном слое определяли по методу И. С. Вострова и А. Н. Петровой¹ Кусочки льняной ткани закладывали весной в фазе

«всходы растений» на глубину 5, 10, 15 и 20 см. Извлечение полотен проводили в предуборочный период либо сразу после уборки культуры.

Общую скважность почвы определяли в слоях 0-10 и 10-20 см. Измерение агрофизических показателей почвы для определения общей скважности проводили три раза за вегетацию – по всходам, в середине вегетации и перед уборкой с выведением средних значений. Опытные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа².

Результаты и их обсуждение. Погодные условия за исследуемый период не всегда складывались благоприятными для роста и развития сельскохозяйственных культур. Самым оптимальным был 2019 год, в течение которого осадки относительно равномерно распределились по месяцам и были на уровне многолетних показателей. Средние температуры за тот же период превысили многолетние данные на 2,1 °С. 2016 год выделился сильной засушливостью – за вегетацию осадков выпало лишь 54 % от нормы, а средняя температура превысила среднемноголетнюю на 3,2 °С. Урожайность этого года по большей степени формировалась за счёт паводковых вод и интенсивных дождей апреля. За сентябрь 2016 года выпало 290 % от нормы осадков по региону. 2017 год отмечен тем, что с апреля по июль осадки почти каждый месяц превышали среднегодовые показатели. Среднее их количество за 4 месяца составило 157 % от нормы. Температурный же режим был близок к оптимальному. 2018 год был засушливым: преобладали повышенные температуры на фоне низкого количества осадков. Так, с мая по август средняя температура воздуха зафиксирована на 5,0 °С выше, а осадков на 28 % ниже средних многолетних показателей. Таким же засушливым был и 2020 год, когда с мая по август осадков выпало на 38 % меньше, а средняя температура на 2,8 °С превысила средние значения.

Несмотря на то, что разложение льняных полотен это лишь один из многих показателей, которые рассматриваются при изучении биологической активности почвы, он является достаточно существенным показателем, по которому можно судить о заселённости почвенного покрова и интенсивности деятельности почвенных микроорганизмов в целом. Увеличение этого показателя демонстрирует общую способность почвы к разложению растительных остатков [21].

Данные нашего опыта по разложению льняных полотен за вегетационные периоды 2016-2020 гг. представлены в таблице 1.

¹Теплер Е. З., Шильникова В. К., Переверзева Г. И. Практикум по биологии. М.: Колос, 1979. 216 с.

²Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агротехиздат, 1985. 351 с.

Таблица 1 – Потеря массы льняного полотна в различных почвенных горизонтах (за вегетационный период), % / Table 1 – Loss of flax linen mass in various soil horizons (during the growing season), %

| Способ обработки почвы (фактор В) / Method of tillage (factor B) | Зернопаровой севооборот (фактор А) / Grain-fallow crop rotation (factor A) | | | | Сидеральный севооборот (фактор А) / Green manure crop rotation (factor A) | | | | Среднее по фактору В / Average by factor B | |
|--|--|------|-------------------|-------|---|------|-------------------|-------|--|------|
| | глубина расположения полотна, см / the depth of the linen, cm | | среднее / average | | глубина расположения полотна, см / the depth of the linen, cm | | среднее / average | | | |
| | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | 0-5 | 5-10 | 10-15 | 15-20 | | |
| 2016 г. – ячмень / 2016 – barley; НСР ₀₅ A=2,2; НСР ₀₅ B=1,9 / LSD ₀₅ A=2,2; LSD ₀₅ B=1,9 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 52,4 | 57,2 | 45,6 | 46,0 | 50,3 | 47,3 | 47,2 | 45,5 | 48,7 | 49,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 48,0 | 49,9 | 42,0 | 46,4 | 46,6 | 48,4 | 47,2 | 48,7 | 48,6 | 47,6 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 46,1 | 46,1 | 43,2 | 42,1 | 44,4 | 47,1 | 44,0 | 45,7 | 46,1 | 45,3 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 42,8 | 46,2 | 41,2 | 40,0 | 42,6 | 43,4 | 43,2 | 41,8 | 43,9 | 43,3 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 46,0 | | | | - | 46,8 | | | | - |
| 2017 г. – яровая вико / 2017 – spring vetch НСР ₀₅ A = 4,3; НСР ₀₅ B = 2,9 / LSD ₀₅ A = 4,3; LSD ₀₅ B = 2,9 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 62,3 | 57,2 | 45,2 | 36,0 | 50,2 | 64,6 | 47,2 | 40,5 | 52,4 | 51,3 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 58,6 | 52,9 | 43,0 | 33,4 | 47,0 | 60,0 | 47,2 | 35,7 | 50,0 | 48,5 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 56,1 | 50,1 | 43,2 | 32,1 | 45,4 | 57,6 | 44,0 | 33,7 | 45,6 | 45,5 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 52,8 | 50,2 | 41,5 | 30,0 | 43,6 | 53,6 | 43,2 | 31,8 | 44,2 | 43,9 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 46,5 | | | | - | 47,9 | | | | - |
| 2018 г. – яровая пшеница/яровая пшеница + клевер / 2018 – spring wheat/ spring wheat + clover; НСР ₀₅ A = 2,8; НСР ₀₅ B = 1,9 / LSD ₀₅ A = 2,8; LSD ₀₅ B = 1,9 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 50,3 | 54,2 | 43,2 | 35,3 | 45,8 | 53,8 | 46,9 | 38,5 | 49,1 | 47,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 45,6 | 50,9 | 42,0 | 33,6 | 43,0 | 56,2 | 47,2 | 35,3 | 48,4 | 45,7 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 44,1 | 46,1 | 40,2 | 33,1 | 40,9 | 49,3 | 44,6 | 33,8 | 43,8 | 42,4 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 40,8 | 47,2 | 39,5 | 30,2 | 39,4 | 46,6 | 42,2 | 30,8 | 41,2 | 40,3 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 42,3 | | | | - | 45,6 | | | | - |
| 2019 г. – чёрный пар/сидеральный пар / 2019 – black fallow/ green manure fallow; НСР ₀₅ A = 2,4; НСР ₀₅ B = 1,7 / LSD ₀₅ A = 2,4; LSD ₀₅ B = 1,7 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 42,7 | 44,3 | 48,2 | 36,6 | 43,0 | 43,9 | 47,1 | 38,3 | 45,2 | 44,1 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 38,3 | 42,4 | 44,1 | 33,4 | 39,6 | 38,8 | 46,8 | 35,6 | 42,6 | 41,1 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 36,2 | 41,6 | 42,8 | 31,1 | 37,9 | 37,3 | 44,3 | 33,7 | 39,9 | 38,9 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 32,8 | 35,8 | 40,4 | 30,3 | 34,8 | 36,7 | 40,2 | 30,8 | 37,3 | 36,1 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 38,8 | | | | - | 41,3 | | | | - |
| 2020 г. – озимая пшеница / 2020 – winter wheat; НСР ₀₅ A = 2,1; НСР ₀₅ B = 1,6 / LSD ₀₅ A = 2,1; LSD ₀₅ B = 1,6 | | | | | | | | | | |
| Классический / Classic | 41,4 | 42,3 | 46,5 | 33,7 | 41,0 | 42,8 | 46,3 | 38,6 | 44,7 | 42,9 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 37,6 | 40,1 | 43,3 | 30,6 | 37,9 | 39,1 | 46,9 | 34,2 | 42,5 | 40,2 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 35,3 | 39,6 | 40,8 | 30,1 | 36,5 | 36,3 | 42,4 | 33,8 | 39,4 | 38,0 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 33,7 | 36,6 | 40,0 | 30,1 | 35,1 | 33,6 | 40,8 | 32,7 | 37,4 | 36,3 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 37,6 | | | | - | 41,0 | | | | - |

Примечания: Классический – осенняя обработка плугом ПЛН-3-35 на 24-26 см (стандарт); Комбинированный-1 – осенняя обработка комбинированным агрегатом КОС-3,0 на 14-16 см; Комбинированный-2 – осенняя обработка дисковой бороной БДМ-4х3,2 на 10-12 см / Notes: Classic – autumn plough tillage with PLN-3-35 to 24-26 cm (standard); Combined-1 – autumn tillage with combined unit КОС-3,0 to 14-16 cm; Combined-2 – autumn tillage with disc harrow БДМ-4х3,2 to 10-12 cm

Независимо от варианта способа почвообработки и погодных условий почти во всех случаях слой почвы 15-20 см имел самый низкий процент разложения льняных полотен (35,1...44,2 % по средним показателям). Очевидно это связано со снижением аэробности

данного слоя почвы в сравнении с вышележащими её слоями, что привело к сокращению содержания аэробных целлюлозоразлагающих микроорганизмов. Это подтверждается и показателями общей скважности почвы (табл. 2).

Табл. 2 – Общая скважность почвы в зависимости от способа обработки, %/
Table 2 – The total porosity of the soil depending on the method of tillage, %

| Способ обработки почвы (фактор B) / Method of tillage (factor B) | Зернопаровой севооборот (фактор A) / Grain-fallow crop rotation (factor A) | | | Сидеральный севооборот (фактор A) / Green manure crop rotation (factor A) | | | Среднее по фактору B / Average by factor B |
|---|--|-------|---------------------|---|-------|---------------------|---|
| | слой почвы, см / soil layer, cm | | среднее/ average | слой почвы, см / soil layer, cm | | среднее/ average | |
| | 0-10 | 10-20 | | 0-10 | 10-20 | | |
| 2016 г. – ячмень / 2016 – barley; HCP ₀₅ A = 1,4; HCP ₀₅ B = 2,7 / LSD ₀₅ A = 1,4; LSD ₀₅ B = 2,7 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 58,0 | 51,0 | 54,5 | 60,0 | 52,0 | 56,0 | 55,3 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 55,0 | 51,0 | 53,0 | 56,0 | 51,0 | 53,5 | 53,3 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 55,0 | 49,0 | 52,0 | 54,0 | 51,0 | 52,5 | 52,3 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 54,0 | 47,0 | 50,5 | 53,0 | 49,0 | 51,0 | 50,8 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 52,5 | | - | 53,3 | | - | |
| 2017 г. – яровая вика / 2017 – spring vetch; HCP ₀₅ A = 2,4; HCP ₀₅ B = 1,9 / LSD ₀₅ A = 2,4; LSD ₀₅ B = 1,9 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 62,0 | 56,0 | 59,0 | 59,0 | 53,0 | 56,0 | 57,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 59,0 | 54,0 | 56,5 | 55,0 | 51,0 | 53,0 | 54,8 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 55,0 | 54,0 | 54,5 | 54,0 | 50,0 | 52,0 | 53,3 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 54,0 | 50,0 | 52,0 | 53,0 | 49,0 | 51,0 | 51,5 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 55,5 | | - | 53,0 | | - | - |
| 2018 г. – яровая пшеница/яровая пшеница + клевер / 2018 – spring wheat/spring wheat + clover HCP ₀₅ A = 1,4; HCP ₀₅ B = 2,7 / LSD ₀₅ A = 1,4; HCP ₀₅ B = 2,7 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 66,0 | 58,0 | 62,0 | 68,0 | 62,0 | 65,0 | 63,5 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 62,0 | 55,0 | 58,5 | 64,0 | 57,0 | 60,5 | 59,5 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 62,0 | 54,0 | 58,0 | 62,0 | 57,0 | 59,5 | 58,8 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 61,0 | 43,0 | 52,0 | 61,0 | 48,0 | 54,5 | 53,3 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 57,6 | | - | 59,9 | | - | - |
| 2019 г. – чёрный пар/сидеральный пар / 2019 – black fallow/green manure fallow HCP ₀₅ A = 1,8; HCP ₀₅ B = 2,5 / LSD ₀₅ A = 1,8; LSD ₀₅ B = 2,5 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 67,0 | 61,0 | 64,0 | 61,0 | 63,0 | 62,0 | 63,0 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 66,0 | 60,0 | 63,0 | 60,0 | 55,0 | 57,5 | 60,3 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 70,0 | 57,0 | 63,5 | 61,0 | 55,0 | 58,0 | 60,8 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 64,0 | 53,0 | 58,5 | 59,0 | 54,0 | 56,5 | 57,5 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 62,3 | | - | 58,5 | | - | - |
| 2020 г. – озимая пшеница / 2020 – winter wheat; HCP ₀₅ A = 1,7; HCP ₀₅ B = 2,5 / LSD ₀₅ A = 1,7; LSD ₀₅ B = 2,5 | | | | | | | |
| Классический / Classic | 60 | 62 | 61,0 | 65 | 62 | 63,5 | 62,3 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 61 | 61 | 61,0 | 66 | 59 | 62,5 | 61,8 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 59 | 58 | 58,5 | 62 | 65 | 63,5 | 61,0 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 57 | 58 | 57,5 | 60 | 62 | 61,0 | 59,3 |
| Среднее по фактору A / Average by factor A | 59,5 | | - | 62,6 | | - | - |

Важно отметить и то, что по слоям почвы большинство льняных полотен лучше разложилось при осенней почвообработке плугом – 33,7...62,3 % во всех вариантах полевого опыта. Тот же результат показали и средние значения – во всех вариантах обработка плугом привела к максимальному сокращению массы льняных полотен (41,0...52,4 %).

В 2016 году в посевах ячменя (вторая ротация севооборота, третий год после запашки клевера) достоверного влияния сидерального севооборота на степень разложения льняного полотна не отмечено – увеличение составило 0,8 % при $НСР_{05}(A) = 2,2$ %. Существенно снижалась активность микрофлоры по сравнению с классической обработкой в вариантах с обработкой БДМ и без осенней обработки (на 4,2 и 6,2 % соответственно при $НСР_{05}(B) = 1,9$ %). Вариант с обработкой KOS-3,0 существенно не отличался по активности микрофлоры от варианта со вспашкой (снижение на 1,9 % – в пределах ошибки опыта ($НСР_{05}B = 1,9$ %)). На посевах яровой вики в 2017 году влияние фактора сидерации также не отмечалось – при $НСР_{05}(A) = 4,3$ увеличение разложения полотна составило 1,4 %. Запашка клевера на сидерат в 2019 году (начало третьей ротации севооборота) оказала достоверное положительное влияние на активизацию микроорганизмов, разлагающих целлюлозу, в последующие годы изучения.

Изменение способа обработки почвы в 2017 и 2018 годах повлияло на сокращение массы льняного полотна следующим образом: при осенней обработке стерневым культиватором микробиологическая активность почвы, как и в 2016 году, не имела существенных отклонений от вспашки. Замена плуга на БДМ, а также полный отказ от основной обработки достоверно сократили активность целлюлозоразлагающих микроорганизмов. В 2019 и 2020 годах все варианты имели достоверное снижение изучаемого показателя от контрольного варианта – вспашки.

В таблице 2 приведены показатели скважности в слоях почвы 0-10 и 10-20 см. Скважность влияет на состояние водно-воздушного режима, а значит и на развитие аэробных микроорганизмов. Согласно полученным данным, изменение скважности практически идентично динамике разложения льняных полотен. В целом по опыту почва в варианте с классической обработкой характеризовалась наибольшими значениями скважности 55,3...63,5 %, остальные обработки в большинстве случаев

существенно понижали общую скважность почвы в слое 0-20 см, особенно ее минимальная обработка – на 3...10 %. В качестве исключения следует отметить, что скважность почвы в посевах ячменя (2016 г.) при ее обработке комбинированным стерневым культиватором оставалась на уровне варианта с классической вспашкой (сокращение в пределах ошибки опыта – 2 % при $НСР_{05}B = 2,7$). Прочие способы обработки почвы статистически значимо сократили содержание пор более чем на 3 %. При применении на озимой пшенице разных способов обработки почвы (2020 г.) только вариант без осенней обработки существенно превысил отклонение от классического способа на 3 % ($НСР_{05}B = 2,5$), применение культиватора и дискатора не оказало достоверного влияния на исследуемый показатель.

На последних культурах второй ротации севооборота (2016-2017 гг.) положительного влияния клеверного сидерального пара на пористость почвы не отмечено, однако в начале третьей ротации севооборота подсев клевера под яровую пшеницу (2018 г.) и возделывание озимой пшеницы по сидерату (2020 г.) существенно улучшили показатели общей скважности почвы.

В таблице 3 представлена урожайность культур в зависимости от изучаемых факторов.

Показатели урожайности демонстрируют её зависимость от способа обработки почвы. Во все годы исследований вспашка способствовала наибольшему выходу продукции. Отсутствие осенней обработки за весь период исследования привело к снижению урожайности зерновых на 18-25 % в сравнении со вспашкой. Анализ воздействия различных почвообрабатывающих агрегатов на выход основной продукции с гектара показал существенное снижение показателя при использовании БДМ в качестве основной осенней обработки почвы, а также в варианте без осенней обработки. Наибольшее уменьшение отмечено именно в последнем варианте за все годы, где урожайность снизилась от 0,47 т/га у вики яровой до 0,94 т/га – у ячменя. Значимых отличий в урожайности культур после вспашки плугом и подготовки почвы с помощью комбинированного стерневого культиватора KOS-3.0 на глубину 14-16 см не выявлено, кроме яровой вики, где при $НСР_{05}B = 0,13$ разность составила 0,29 т/га, то есть продуктивность культуры существенно увеличилась именно при классическом способе обработки.

Табл. 3 – Урожайность культур в зависимости от способа осенней обработки почвы и типа севооборота, т/га / Table 3 – Crop yield depending on the method of autumn tillage and type of crop rotation, t/ha

| Способ обработки почвы (фактор В) / Method of tillage (factor B) | Вид севооборота (фактор А) / View of crop rotation (factor A) | | Среднее по фактору В / Average by factor B |
|--|--|-------------------------------|---|
| | зернопаровой / grain-fallow | сидеральный / green manure | |
| 2016 г. – ячмень / 2016 – barley HCP ₀₅ A = 0,15; HCP ₀₅ B = 0,11 / LSD ₀₅ A = 0,15; LSD ₀₅ B = 0,11 | | | |
| Классический / Classic | 3,96 | 4,04 | 4,00 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 3,92 | 3,99 | 3,96 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 3,64 | 3,77 | 3,71 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 2,98 | 3,13 | 3,06 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 3,63 | 3,73 | - |
| 2017 г. – яровая вика / 2017 – spring vetch HCP ₀₅ A = 0,12; HCP ₀₅ B = 0,13 / LSD ₀₅ A = 0,12; LSD ₀₅ B = 0,13 | | | |
| Классический / Classic | 2,53 | 2,65 | 2,59 |
| Комбинированный -1 / Combined-1 | 2,26 | 2,33 | 2,30 |
| Комбинированный -2 / Combined-2 | 2,11 | 2,28 | 2,20 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 2,07 | 2,17 | 2,12 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 2,24 | 2,36 | - |
| 2018 г. – яровая пшеница/яровая пшеница + клевер / 2018 – spring wheat/ spring wheat + clover HCP ₀₅ A = 0,14; HCP ₀₅ B = 0,11 / LSD ₀₅ A = 0,14; HCP ₀₅ B = 0,11 | | | |
| Классический / Classic | 3,28 | 3,34 | 3,31 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 3,21 | 3,23 | 3,22 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 2,96 | 3,05 | 3,01 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 2,66 | 2,75 | 2,71 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 3,03 | 3,09 | - |
| 2019 г. – чёрный пар/сидеральный пар (клевер) / 2019 – black fallow/green manure fallow (clover) HCP ₀₅ B = 3,8 / LSD ₀₅ B = 3,8 | | | |
| Классический / Classic | - | 27,2 | - |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | - | 26,8 | - |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | - | 21,0 | - |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | - | 19,0 | - |
| 2020 г. – озимая пшеница / 2020 – winter wheat HCP ₀₅ A = 0,14; HCP ₀₅ B = 0,21 / LSD ₀₅ A = 0,14; LSD ₀₅ B = 0,21 | | | |
| Классический / Classic | 4,68 | 4,72 | 4,70 |
| Комбинированный-1 / Combined-1 | 4,49 | 4,58 | 4,54 |
| Комбинированный-2 / Combined-2 | 4,24 | 4,10 | 4,17 |
| Без осенней обработки / Without autumn tillage | 3,94 | 3,97 | 3,96 |
| Среднее по фактору А / Average by factor A | 4,34 | 4,34 | - |

Статистически значимого влияния сидерации на изменение урожайности культур севооборота не отмечено. Исключение – яровая вика в 2017 году, когда средняя урожайность в сидеральном севообороте повысилась на 0,12 т/га при НСР₀₅ = 0,12 т/га.

Заключение. Изучаемые способы обработки темно-серой лесной почвы выявили преимущество традиционной плужной обработки почвы во все годы исследований как по биологической активности почвы, так и урожайности. Вспашка является самой энергоёмкой операцией в системе обработок под сельскохозяйственные культуры, в связи с этим многие хозяйства отказываются от данной операции, заменяя её на альтернативные.

В наших опытах замена осенней плужной обработки на поверхностное рыхление комбинированным стерневым культиватором КОС-3.0 при возделывании большинства культур севооборота привела к результатам, близким к вспашке как по целлюлозоразлагающей активности почвы, так и урожайности ячменя, яровой пшеницы, клевера и озимой пшеницы. Из трёх изучаемых способов осенней подготовки почвы использование дисковой бороны существенно снизило разложение льяных

полотен, скважность почвы и урожайность культур в сравнении с классической вспашкой и поверхностным рыхлением комбинированным стерневым культиватором. Отказ от осенней обработки с применением только предпосевной культивации почвы комбинированным орудием «Паук-6» привел к существенному снижению как общей скважности и целлюлозоразлагающей активности почвы, так и урожайности культур севооборота.

Сидерация несмотря на то, что в большинстве случаев улучшала изучаемые показатели, значимого влияния на них не оказала.

Производству можно рекомендовать следующее: при отказе от вспашки и переходе на ресурсосберегающую обработку почвы с оставлением соломы на полях под зерновые культуры в качестве основной осенней обработки темно-серой лесной тяжелосуглинистой почвы оптимально применение комбинированного стерневого культиватора КОС. Его использование взамен плуга, в том числе в севооборотах с сидеральным паром, позволяет приблизить агрофизические и биологические показатели почвы, урожайность культур к оптимальным значениям, получаемым при использовании вспашки.

Список литературы

1. Гельцер Ю. Г. Показатели биологической активности в почвенных исследованиях. Почвоведение. 1990;(9):47-60. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403536>
2. Берестецкий О. А., Возняковская Ю. М., Доросинский Л. М., Круглов Ю. В., Муромцев Г. С., Тарвис Т. В., Туев Н. А., Чундерова А. И. Биологические основы плодородия почвы. М.: Колос, 1984. 287 с.
3. Мергель А. А., Тимченко А. В., Кудеяров В. Н. Роль корневых выделений растений в трансформации азота и углерода в почве. Почвоведение. 1996;(10):1234-1239. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403609>
4. Двойных В. В. Особенности биологической активности почв. Плодородие почв и эффективное применение удобрений: мат-лы Международ. научн.-практ. конф. Ч. 1. Минск: Институт системных исследований в АПК НАН Беларуси, 2021. С. 61-66. Режим доступа: http://www.brissa.by/wp-content/uploads/2021/06/Conference_Minsk_2021_1.pdf#page=61
5. Аристовская Т. В., Чугунова Т. В. Экспресс – метод определения биологической активности почвы. Почвоведение. 1989;(11):142-147. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403526>
6. Казеев К. Ш., Колесников С. И., Вальков В. Ф. Биологическая диагностика и индикация почв: методология и методы исследований. Ростов-на-Дону: Изд-во Технологический институт ФГБОУ ВО «Южный федеральный университет» в г. Таганроге, 2003. 204 с.
7. Нечаева Е. Х., Марковская Г. К., Мельникова Н. А. Параметры оценки биологической активности почвы. Эпоха науки. 2015;(4):92. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429490> EDN: VKMNXB
8. Смирнов Б. А., Котьяк П. А., Чебыкина Е. В. Влияние разных по интенсивности систем обработки и удобрений на изменение биологических показателей плодородия почвы. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2008;(10(48)):16-20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11639001> EDN: JUSCOV
9. Свирскене А. Микробиологические и биохимические показатели при оценке антропогенного воздействия на почвы. Почвоведение. 2003;(2):202-210. Режим доступа: <https://magzdb.org/num/2403685>
10. Wołejko E., Jabłońska-Trypuć A., Wydro U., Butarewicz A., Łozowicka B. Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides – a review. Applied soil ecology. 2020;147:103356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.006>

11. Мельникова Н. А., Нечаева Е. Х. Влияние различных способов основной обработки на биологическую активность почвы при возделывании яровой пшеницы в условиях лесостепи Заволжья. Эпоха науки. 2015;(4):125. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429523> EDN: VKMIJT
12. Богомазов С. В., Ткачук О. А., Павликова Е. В., Кочмин А. Г. Роль агротехнических приёмов в технологии возделывания озимой пшеницы в условиях черноземных почв Среднего Поволжья. Нива Поволжья. 2014;(2(31)):2-7. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21616984> EDN: QJTGCD
13. Марковская Г. К., Кирясова Н. А. Влияние минимализации обработки почвы на её биологическую активность. Достижения науки и техники АПК. 2007;(1):16-17. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10293102> EDN: IRGIVJ
14. Мельникова О. В. Технологии возделывания культур и биологическая активность почвы. Земледелие. 2009;(1):22-24. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vozdelyvaniya-kultur-i-biologicheskaya-aktivnost-pochvy/viewer>
15. Макаров Б. Н. Дыхание почвы и роль этого процесса в углеродном питании растений. Агрехимия. 1993;8:94-104.
16. Дзюин Г. П., Дзюин А. Г., Белоусова Л. А., Ложкина С. В. Биологическая активность дерново-подзолистой почвы. Аграрная наука Евро-северо-Востока. 2006;(8):75-79. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12881629> EDN: KVXCQR
17. Гринейц Л. В., Сенькова Л. А., Мингалев С. К. Биологическая активность почвы. Аграрное образование и наука. 2019;(2):14. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41104857> EDN: BQHDDE
18. Новиков В. М. Влияние агротехнических приёмов и погодных условий на биологическую активность тёмно-серой лесной почвы при возделывании зернобобовых и крупяных культур. Зернобобовые и крупяные культуры. 2016;(4(20)):116-120. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27471668> EDN: XDEFQD
19. Антонов В. Г. Влияние минимальных способов основной обработки почвы на структурно-агрегатный состав серой лесной почвы в Чувашской Республике. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):733-742. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742> EDN: LCXZWB
20. Антонов В. Г., Ермолаев А. П. Эффективность длительного применения минимальных способов обработки почвы в севооборотах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(4(65)):87-92. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92> EDN: XVLNZJ
21. Мишустин Е. Н. Ассоциация почвенных микроорганизмов. М.: Наука, 1975. 105 с.

References

1. Gel'tser Yu. G. Biological activity parameters in soil investigations. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1990;(9):47-60. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403536>
2. Berestetskiy O. A., Voznyakovskaya Yu. M., Dorosinskiy L. M., Kruglov Yu. V., Muromtsev G. S., Tarvis T. V., Tuev N. A., Chunderova A. I. Biological basis of soil fertility. Moscow: *Kolos*, 1984. 287 p.
3. Mergel' A. A., Timchenko A. V., Kudeyarov V. N. The role of root exudates in transformation of nitrogen- and carbon-bound compounds in soils. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1996;(10):1234-1239. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403609>
4. Dvoynikh V. V. Features of the biological activity of soils. Soil fertility and efficient use of fertilizers: Proceedings of the International scientific and practical conf. Part 1. Minsk: *Institut sistemnykh issledovaniy v APK NAN Belarusi*, 2021. pp. 61-66. URL: http://www.brissa.by/wp-content/uploads/2021/06/Conference_Minsk_2021_1.pdf#page=61
5. Aristovskaya T. V., Chugunova T. V. Express determination of soil biological activity. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 1989;(11):142-147. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403526>
6. Kazeev K. Sh., Kolesnikov S. I., Valkov V. F. Biological diagnostic and indication of soils: the methodology and methods of researches. Rostov-na-Donu: *Izd-vo Tekhnologicheskij institut FGBOU VO "Yuzhnyy federal'nyy universitet" v g. Taganroge*, 2003. 204 p.
7. Nechaeva E. Kh., Markovskaya G. K., Melnikova N. A. Assessment parameters of biological activity of soil. *Epokha nauki*. 2015;(4):92. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429490>
8. Smirnov B. A., Kotyak P. A., Chebykina E. V. Influence of different by intensity systems of tillage and fertilizing on the change of biological indices of soil fertility. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Bulletin of Altai State Agricultural University. 2008;(10(48)):16-20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11639001>
9. Svirskene A. Microbiological and biochemical indicators of anthropogenic impacts on soils. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2003;(2):202-210. (In Russ.). URL: <https://magzdb.org/num/2403685>
10. Wołejko E., Jabłońska-Trypuć A., Wydro U., Butarewicz A., Łozowicka B. Soil biological activity as an indicator of soil pollution with pesticides – a review. *Applied soil ecology*. 2020;147:103356. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.09.006>

11. Melnikova N. A., Nechaeva E. Kh. Influence of different ways of basic treatment on biological activity of soil at till of spring wheat in the conditions of forest-steppe of Zavolzhyia. *Epokha nauki*. 2015;(4):125. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25429523>
12. Bogomazov S. V., Tkachuk O. A., Pavlikova E. V., Kochmin A. G. The role of agrotechnical methods in the technology of winter wheat cultivation in the conditions of black soil region of middle Volga area. *Niva Povolzh'ya = Volga Region Farmland*. 2014;(2(31)):2-7. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21616984>
13. Markovskaya G. K., Kiryasova N. A. Influence of minimization of soil tillage on its biological activity. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2007;(1):16-17. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=10293102>
14. Melnikova O. V. Cultivation technologies and soil biological activity. *Zemledelie*. 2009;(1):22-24. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/tehnologii-vozdelyvaniya-kultur-i-biologicheskaya-aktivnost-pochvy/viewer>
15. Makarov B. N. Soil respiration and the role of this process in carbon nutrition of plants. *Agrokimiya*. 1993;8:94-104. (In Russ.).
16. Dzyuin G. P., Dzyuin A. G., Belousova L. A., Lozhkina S. V. Biological activity of sod-podzolic soil. *Agrarnaya nauka Evro-severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2006;(8):75-79. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12881629>
17. Grinets L. V., Senkova L. A., Mingalev S. K. Soil biological activity. *Agrarnoe obrazovanie i nauka = Agrarian education and science*. 2019;(2):14. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41104857>
18. Novikov V. M. Effect of agrotechnological techniques and weather conditions on the biological activity of a dark gray forest soil in the cultivation of legumes and cereals. *Zernobobovye i krupyanye kul'tury = Legumes and Groat Crops*. 2016;(4(20)):116-120. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27471668>
19. Antonov V. G. The effect of minimum methods of primary tillage on the structural and aggregate composition of gray forest soil in the Chuvash Republic. *Agrarnaya nauka Evro-severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2020;21(6):733-742. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.733-742>
20. Antonov V. G., Ermolaev A. P. The efficiency of continuous application of minimum soil tillage methods in crop rotations. *Agrarnaya nauka Evro-severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2018;65(4):87-92. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.65.4.87-92>
21. Mishustin E. N. Association of Soil Microorganisms. Moscow: *Nauka*, 1975. 105 p.

Сведения об авторах

✉ **Дементьев Дмитрий Алексеевич**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: tymondem@mail.ru

Фадеев Андрей Анатольевич, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, Чувашский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Центральная, д. 2, Цивильский район, п. Опытный, Чувашская Республика, Российская Федерация, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

Information about the authors

✉ **Dmitrii A. Dementiev**, PhD in Agricultural Science, researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: tymondem@mail.ru

Andrey A. Fadeev, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Chuvash Research Agricultural Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Tsentralnaya str., 2, Tsivilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: chniish@mail.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Использование макро- и микроудобрений в посевах ячменя в полевом севообороте на черноземе выщелоченном

© 2023. Л. Н. Прокина ✉, С. В. Пугаев

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

В статье обобщены результаты исследований за 2020-2021 гг., полученных в полевом стационарном опыте на черноземе выщелоченном в условиях Республики Мордовия. Объект исследования – яровой ячмень сорта Зазерский 85, в посевах которого изучали эффективность отдельного и совместного применения препарата Форсаж (микро) с различными дозами минеральных удобрений, в том числе на фоне известкования почвы по 0,5 и 1,0 г. к. в 1999-2000 гг. В среднем за два года в варианте без применения средств химизации урожайность культуры составила 1,82 т/га. Действие удобрений (P₄₀K₄₀, N₄₀₋₆₀₋₈₀P₄₀K₄₀) оценивалось прибавкой урожайности 0,10, 0,40-1,02 т/га (НСР₀₅ = 0,03 т/га). Окупаемость 1 кг д. в. минеральных удобрений дополнительным доходом возрастала с увеличением доз вносимых удобрений и составила соответственно 0,94, 1,08, 1,19, 1,38 руб/руб. Применение минеральных удобрений достоверно увеличивало массу 1000 зерен и натурную массу зерна ячменя на 0,6-2,3 г и 9-33 г/л, а препарата Форсаж – на 0,2 г и 3,0 г/л соответственно. Рекомендуемая доза минеральных удобрений под ячмень N₈₀P₄₀K₄₀ обеспечивала урожайность 2,84 т/га. Дополнительное применение препарата Форсаж (микро) позволило улучшить технологические показатели качества зерна.

Ключевые слова: *Hordeum distichon* L., минеральные удобрения, препарат Форсаж (микро), урожайность, окупаемость, дополнительный доход, масса 1000 зерен, натурная масса

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

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Прокина Л. Н., Пугаев С. В. Использование макро- и микроудобрений в посевах ячменя в полевом севообороте на черноземе выщелоченном. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):440-447.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.440-447>

Поступила: 22.03.2023

Принята к публикации: 15.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The use of macro and micro fertilizers in barley crops in field crop rotation on leached chernozem

© 2023. Lyudmila N. Prokina ✉, Sergey V. Pugaev

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

The article summarizes the 2020-2021 research results, obtained in a field stationary experiment on leached chernozem in the Republic of Mordovia. The object of the study was spring barley of the Zazersky 85 variety. In its sowings the effectiveness of separate and joint use of the Forsazh (micro) preparation with various doses of mineral fertilizers was studied, including against the background of liming of the soil by 0.5 and 1.0 h.a. in 1999-2000. On average, for two years in the variant without the use of chemicals, the crop yield was 1.82 t / ha. The effect of fertilizers (P₄₀K₄₀, N₄₀₋₆₀₋₈₀P₄₀K₄₀) was estimated by an increase in the yield of 0.10, 0.40-1.02 t/ha (LSD₀₅ = 0.03 t/ha). The payback of 1 kg a.i. of mineral fertilizers with additional income increased with the rise in the doses of fertilizers applied - 0.94, 1.08, 1.19, 1.38 rubles/rub, respectively. The use of mineral fertilizers significantly increased the mass of 1000 grains and the natural weight of barley grain by 0.6-2.3 g and 9-33 g/l, respectively, and the Forsazh preparation by 0.2 g and 3 g/l. The recommended dose of mineral fertilizers for barley N₈₀P₄₀K₄₀ provides the yield of 2.84 t/ha. Additional use of the Forsazh (micro) preparation will improve the technological indicators of grain quality.

Keywords: *Hordeum distichon* L., mineral fertilizers, Forsazh (micro) preparation, yield, payback, additional income, weight of 1000 grains, natural weight

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

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

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

For citations: Prokina L. N., Pugaev S. V. The use of macro and micro fertilizers in barley crops in field crop rotation on leached chernozem. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):440-447.

(In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.440-447>

Received: 22.03.2023

Accepted for publication: 15.05.2023

Published online: 28.06.2023

Ячмень – важная продовольственная и зернофуражная культура многоцелевого назначения. Основным фактором реализации потенциальной продуктивности ее является оптимизация минерального питания, направленная на повышение урожайности в конкретных почвенно-климатических условиях при минимальных затратах и оптимальном соотношении в почве макро- и микроудобрений [1, 2, 3, 4].

Качество зерна ячменя, как и урожайность, в основном зависит от питания растений, агрохимических свойств почвы, сортовых особенностей культуры и многих других факторов [5, 6]. На дерново-подзолистой среднесуглинистой почве отзывчивость ячменя на применение азотных удобрений выше, чем фосфорных, и их долевое участие в формировании урожайности составляло от 6 до 18 %, в том числе азотных 14-15 %, фосфорных – 6-8 % [7]. В Вологодской области на дерново-подзолистой почве ячмень размещают по многолетним бобово-злаковым травам с внесением полного минерального удобрения в размере 3 ц/га, и при закладке колоса посевы обрабатывают препаратом Аквамарин (урожайность 3,8 т/га) [8]. На черноземе обыкновенном у ячменя сорта Медикум 157 на фоне отвальной вспашки с внесением удобрений в дозах $N_{40}P_{40}K_{40}$ и $N_{80}P_{80}K_{80}$ урожайность увеличивалась на 31,3 и 50,2 % соответственно (контроль 2,59 т/га) [9]. Раннеспелый сорт ячменя Батка на среднеокультуренной дерново-подзолистой почве при возделывании на фоне $N_{80}P_{70}K_{120}+N_{40}$ с применением внекорневой подкормки микроудобрением МикроСтим Медь Л показал наибольшую урожайность (7,0 т/га) [10].

В Республике Мордовия изучение эффективности минеральных удобрений и микроэлементов (ЖУСС-2) проводили на озимой пшенице и сое [11, 12], на многолетних травах – Форсаж [13], что и послужило необходимостью изучения данных факторов на посевах ячменя.

Цель исследований – изучить влияние макроудобрений и микроудобрения Форсаж на урожайность и технологические качества зерна ячменя сорта Зазерский 85.

Научная новизна – показана зависимость урожайности и технологических показателей качества зерна ячменя сорта Зазерский 85 от применения макро- и микроудобрений в полевом севообороте в условиях Республики Мордовия.

Материал и методы. Работа выполнена в Мордовском НИИ сельского хозяйства

(филиал ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока) на базе стационарного полевого опыта, заложенного в 1972-1973 гг. по методике Б. А. Доспехова¹. Представлены результаты исследований за 2020-2021 гг., где яровой ячмень возделывали после озимой пшеницы.

Схема опыта включала следующие факторы – **Известкование:** 1 – без известкования; 2 – последствие известкования по 0,5 г. к.; 3 – последствие известкования по 1,0 г. к. **Микроудобрения:** 1 – без микроудобрений; 2 – микроудобрение в форме жидкого минерального удобрения Форсаж (микро). **Минеральные удобрения:** 1 – без удобрений (с 1972 г.); 2 – $P_{40}K_{40}$ (фон); 3 – фон + N_{40} ; 4 – фон + N_{60} ; 5 – фон + N_{80} . Чередование культур в севообороте: люцерна 1 г. п. – люцерна 2 г. п. – люцерна 3 г. п. – озимая пшеница – ячмень – вика – яровая пшеница.

Почва опытного участка – чернозем выщелоченный тяжелосуглинистый со следующей агрохимической характеристикой пахотного слоя в варианте без удобрений на фоне без известкования: содержание гумуса (по Тюрину) – 9,03 %, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) 122,7 и 156,3 мг/кг почвы, pH_{KCl} (потенциметрически) – 4,81; на фоне последствие известкования по 0,5 и 1,0 г. к. – 9,45 и 9,30 %; 194,7 и 210,5; 184,3 и 189,9 мг/кг почвы, pH_{KCl} – 5,02 и 5,04 соответственно.

Расположение вариантов в опыте рендомизированное, наложение факторов методом расщепленных делянок. Повторность в опыте трехкратная. Посевная площадь делянки 78,75 м² (7,5×10,5 м), учетная – 63 м² (6,0×10,5 м).

В опыте проведено два цикла известкования (один раз за ротацию севооборотов), последний – осенью 1999 и 2000 гг. Минеральные удобрения по делянкам опыта вносили вручную под основную обработку почвы. Жидкое минеральное удобрение Форсаж (микро) (1 л/га) применяли путем опрыскивания посевов ячменя в фазу «кущение». Расход рабочей жидкости составлял 250-300 л/га. Данный препарат, кроме азота (7 %), фосфора (0,55 %) и калия (3,6 %), содержит большой спектр микроэлементов (сера – 15,0 %, магний – 2,4 %, цинк – 3,4 %, медь – 3,8 %, железо – 0,55 %, марганец – 0,4 %, молибден – 0,68 %, бор – 0,58 %) и аминокислоты L-формы – 15,0 %. Изготовитель – ООО «Союз Хим КО», ТУ 2189-009-84551337-2015.

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

Предпосевная обработка почвы заключалась в культивации зяби агрегатом МТЗ 82 + КНК-3,6. Предпосевную обработку семян ячменя проводили фунгицидом Тебузан, ТКС (0,50 л/т) за неделю до сева. Норма высева 5,0 млн всхожих семян. Гербицид (Террастар, 25 г/га) применяли фоном во всех вариантах опыта.

Учет урожая ячменя в опыте проводили прямым комбайнированием методом поделачночного обмолота комбайном «Дон-1500» со специальным приспособлением для сбора малой массы зерна. Результаты переведены на 100%-ную чистоту и 14%-ную влажность. Урожайные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа². Окупаемость минеральных удобрений рассчитана по методическим указаниям³.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в годы проведения исследований были различными, но типичными для зоны опыта. Для 2020 г. была характерна ранняя, прохладная и дождливая весна и умеренно теплое лето. Средняя температура воздуха за вегетационный период составила 16,7 °С, сумма активных температур выше 10 °С – 1470 °С при среднемноголетнем значении 1536 °С, гидротермический коэффициент (ГТК) за май – 3,0, июнь – 1,1, июль – 0,3.

В 2021 г. во второй декаде мая-первой декаде июня осадков выпало лишь 2-6 мм. Среднемесячная температура воздуха в мае, июне и июле превысила среднемноголетние значения на 3,0, 2,8, 3,4 °С соответственно. В июне-июле – солнечная и сухая погода: температура воздуха достигала 33,9 °С, почвы – до 53 °С. Средняя температура воздуха за вегетационный период составила 20,4 °С. Значения ГТК за две последние декады мая (0,1 и 0,4) свидетельствовали о сильной засухе, что негативно отразилось на всходах культуры. Средней засушливостью характеризовались июнь и июль (ГТК = 0,6). Вегетация проходила в условиях недобора влаги и избытка тепла (осадков выпало 87 мм, 61 % от нормы). Сумма активных температур выше 10 °С составила 2329 °С при среднемноголетнем значении 1904 °С. Таким образом, в целом оба вегетационных периода можно охарактеризовать как не вполне благоприятные.

Урожайность ячменя в 2020 г. в варианте без удобрений составила 2,23 т/га (табл. 1). Минеральные удобрения в среднем по опыту

повышали урожайность культуры на 3,2-73,4 % по сравнению с контролем (2,22 т/га). Наибольшая прибавка урожайности ячменя получена на фоне последствия известкования по 0,5 г. к. и 1,0 г. к. в варианте N₈₀P₄₀K₄₀ (1,70 и 1,71 т/га) с применением препарата Форсаж (микро) и без него, при этом была и достаточно высокой окупаемость минеральных удобрений прибавкой зерна соответственно 10,62 и 10,69 кг зерна на 1 кг д. в. удобрений. В среднем по опыту варианты по окупаемости располагались в порядке возрастания вносимых доз минеральных удобрений от P₄₀K₄₀ до N₈₀P₄₀K₄₀ (от 0,87 до 10,19 кг зерна на 1 кг д. в. удобрений). Статистически значимого эффекта от последствия известкования почвы по 0,5 и 1,0 г. к., как и от применения жидкого минерального удобрения Форсаж (микро), не получено (прибавка урожайности ячменя от препарата Форсаж составила 0,05 т/га при НСР₀₅ = 0,08 т/га). Долевое участие минеральных удобрений в формировании урожая зерна ячменя в 2020 г. составило 98,8 %, микроудобрений – 0,18 %, последствия известкования 0,01 %, взаимодействия факторов – 1,01 %

В 2021 г. при возделывании ячменя без внесения средств химизации получили урожайность 1,42 т/га (табл. 1). Внесение под посевы ячменя N₈₀P₄₀K₄₀ и опрыскивание препаратом Форсаж (микро) на фоне последствия известкования по 0,5 г. к. способствовало получению наибольшей урожайности (1,85 т/га). В целом по опыту в вариантах с внесением полного минерального удобрения N₄₀₋₆₀₋₈₀P₄₀K₄₀ как урожайность (1,75, 1,76 и 1,83 т/га), так и количество дополнительно полученного зерна (0,33, 0,34 и 0,41 т/га) различались незначительно, особенно при внесении N₄₀P₄₀K₄₀ и N₆₀P₄₀K₄₀. При обработке препаратом посевов ячменя в фазу «кущение» получена существенная прибавка зерна – 0,02 т/га. Средняя урожайность ячменя в опыте по сравнению с предыдущим годом (2,84 т/га) снизилась в 1,71 раза, что вполне можно объяснить недостаточной влагообеспеченностью посевов культуры за период вегетации (128 мм против 178 мм среднегодовых), особенно в период всходов. Долевое участие минеральных удобрений и препарата Форсаж в формировании урожая зерна ячменя в 2021 г. составило соответственно 94,9 и 0,62 %, последствия известкования – 0,12 %, взаимодействия факторов – 4,36 %.

²Доспехов Б. А. Указ. соч.

³Методические указания по определению экономической эффективности удобрений в сельском хозяйстве. М., 1971. 89 с.

Таблица 1 – Влияние макроудобрений и микроудобрения Форсаж на урожайность ячменя сорта Зазерский 85, т/га / Table 1 – The effect of macro fertilizers and micro fertilizers Forsazh on the yield of barley of the Zazersky 85 variety, t/ha

| Макроудобрение / Macro fertilization | Без известкования / Without liming | | Известкование в 1999-2000 гг. / Liming in 1999-2000 | | | | Среднее / Average |
|--|--|---|--|---|--|---|-------------------|
| | без микро- удобрения / without mi- cronutrients | Форсаж, 1 л/га / Forsazh; 1 l/ha | 0,5 г. к. / 0.5 h. a | | 1,0 г. к. / 1.0 h. a | | |
| | | | без микро- удобрения / without mi- cronutrients | Форсаж, 1 л/га / Forsazh, 1 l/ha | без микро- удобрения / without mi- cronutrients | Форсаж, 1 л/га / Forsazh, 1 l/ha | |
| 2020 г. | | | | | | | |
| Без удобрений / Without fertilizers | 2,23 | 2,25 | 2,22 | 2,24 | 2,15 | 2,22 | 2,22 |
| P ₄₀ K ₄₀ | 2,29 | 2,35 | 2,26 | 2,30 | 2,27 | 2,27 | 2,29 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 2,66 | 2,72 | 2,58 | 2,75 | 2,65 | 2,72 | 2,68 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | 3,19 | 3,12 | 3,09 | 3,16 | 3,20 | 3,24 | 3,17 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | 3,78 | 3,85 | 3,80 | 3,94 | 3,86 | 3,88 | 3,85 |
| НСР ₀₅ ч.р. 0,04, НСР ₀₅ (удобр.) 0,05 / LSD ₀₅ ch.r. 0.04, LSD ₀₅ (fert.) 0.05 | | | | | | | |
| 2021 г. | | | | | | | |
| Без удобрений / Without fertilizers | 1,42 | 1,42 | 1,42 | 1,44 | 1,41 | 1,42 | 1,42 |
| P ₄₀ K ₄₀ | 1,55 | 1,56 | 1,56 | 1,55 | 1,55 | 1,56 | 1,56 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 1,70 | 1,78 | 1,77 | 1,76 | 1,73 | 1,76 | 1,75 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | 1,77 | 1,80 | 1,75 | 1,77 | 1,75 | 1,75 | 1,76 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | 1,82 | 1,84 | 1,83 | 1,85 | 1,81 | 1,83 | 1,83 |
| НСР ₀₅ ч.р. 0,03, НСР ₀₅ (Форсаж) 0,01, НСР ₀₅ (удобр.) 0,03 / LSD ₀₅ ch.r. 0.03, LSD ₀₅ (Forsazh) 0.01, LSD ₀₅ (fert.) 0.03 | | | | | | | |
| Среднее за 2020-2021 гг. / Average for 2020-2021 | | | | | | | |
| Без удобрений / Without fertilizers | 1,82 | 1,84 | 1,82 | 1,84 | 1,78 | 1,82 | 1,82 |
| P ₄₀ K ₄₀ | 1,92 | 1,96 | 1,91 | 1,92 | 1,91 | 1,92 | 1,92 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 2,20 | 2,26 | 2,18 | 2,26 | 2,19 | 2,24 | 2,22 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | 2,46 | 2,46 | 2,42 | 2,48 | 2,47 | 2,50 | 2,47 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | 2,80 | 2,84 | 2,82 | 2,90 | 2,84 | 2,86 | 2,84 |
| НСР ₀₅ ч.р. 0,03, НСР ₀₅ (Форсаж) 0,04, НСР ₀₅ (удобр.) 0,03 / LSD ₀₅ ch.r. 0.03, LSD ₀₅ (Forsazh) 0.04, LSD ₀₅ (fert.) 0.03 | | | | | | | |

В среднем за два года урожайность зерна ячменя в контрольном варианте составила 1,82 т/га (табл. 1), от внесения удобрений получены прибавки от 0,10 до 1,02 т/га по сравнению с контролем. Наиболее высокую урожайность (2,90 и 2,86 т/га) и соответствующие прибавки (1,06 и 1,04 т/га) получили на фонах последействия известкования по 0,5 и 1,0 г. к. в варианте с N₈₀P₄₀K₄₀ и обработкой посевов препаратом Форсаж (микро). Несколько меньшая урожайность (2,84 т/га) и прибавка 1,06 т/га на фоне последействия известкования по 1,0 г. к. получена в варианте с такой же дозой удобрений, но без применения микро-

удобрения. В целом по опыту достоверность действия препарата Форсаж (микро) на урожайность ячменя не подтверждена, но его применение на фоне последействия известкования по 0,5 г. к. во всех вариантах внесения полного минерального удобрения обеспечило достоверные прибавки 0,06-0,08 т/га (НСР₀₅ = 0,04 т/га).

С экономической точки зрения, в вариантах внесения полного минерального удобрения с дозой азота 60 и 80 кг д. в. /га в среднем по опыту получили приемлемый дополнительный доход (1,19 и 1,38 руб/руб. соответственно), на величину которого не повлияло известкование, проведенное в 1999-2000 гг. (табл. 2).

Таблица 2 – Окупаемость минеральных удобрений при возделывании ячменя сорта Зазерский 85 в зависимости от изучаемых факторов (в среднем за 2020-2021 гг.) / Table 2 – The payback of mineral fertilizers in the cultivation of barley of the Zazersky 85 variety depending on the factors studied (average for 2020-2021)

| Удобрения / Fertilizers | Урожайность в контроле и прибавка, т/га / Yield under control and increase, t/ha | | Окупаемость 1 кг д. в. удобрений / Payback of 1 kg a. i. of fertilizers | |
|---|--|----------------------|--|---|
| | от PK / from PK | от NPK / from NPK | дополнительным урожаем зерна, кг / additional grain yield, kg | дополнительным доходом руб/руб. / additional income of rub/rub |
| <i>Без известкования / Without liming</i> | | | | |
| Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control) | 1,82 | - | - | - |
| P ₄₀ K ₄₀ | 0,11 | - | 1,4 | 0,95 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,40 | 3,3 | 1,08 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,63 | 4,5 | 1,19 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,99 | 6,2 | 1,37 |
| <i>Известкование по 0,5 г. к. (1999-2000 гг.) / Liming by 0.5 h. a. (1999-2000)</i> | | | | |
| Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control) | 1,83 | - | - | - |
| P ₄₀ K ₄₀ | 0,11 | - | 1,4 | 0,94 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,39 | 3,2 | 1,08 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,62 | 4,4 | 1,19 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 1,03 | 6,4 | 1,38 |
| <i>Известкование по 1,0 г. к. (1999-2000 гг.) / Liming by 1.0 h.a. (1999-2000)</i> | | | | |
| Без удобрений (контроль) / Without fertilizers (control) | 1,80 | - | - | - |
| P ₄₀ K ₄₀ | 0,12 | - | 1,5 | 0,94 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,42 | 3,5 | 1,08 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 0,68 | 4,9 | 1,20 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | - | 1,05 | 6,6 | 1,38 |

Дополнительный доход распределился следующим образом: N₈₀P₄₀K₄₀ > N₆₀P₄₀K₄₀ > N₄₀P₄₀K₄₀ > P₄₀K₄₀ или 1,38 > 1,19 > 1,08 > 0,94 руб/руб. Разницы в величине дополнительного дохода в вариантах без микроудобрений и с их внесением практически нет, поэтому их применение зависит от наличия финансирования. Окупаемость зерном 1 кг д. в. минеральных удобрений возрастала от 1,4 до 6,6 кг с увеличением доз азотных удобрений.

Таким образом, при возделывании ячменя сорта Зазерский 85 основная роль принадлежит минеральным удобрениям (94,9-98,8 %). Внесение полного минерального удобрения в дозе N₆₀₋₈₀P₄₀K₄₀ обеспечивает урожайность зерна ячменя 2,46-2,84 т/га. Действие препарата Форсаж (микро) требует дальнейшего изучения.

Масса 1000 зерен – важный показатель технологического качества зерна, а в случае с ячменем имеет большое значение для пивоварения. В среднем за два года исследований в целом по опыту применение минеральных удобрений существенно повышало массу 1000 зерен на 0,6-2,3 г, по сравнению с вариантом без удобрений (43,5 г), НСР₀₅ (удобр.) = 0,2 г (табл. 3). Внесение полного минерального удобрения способствовало увеличению массы 1000 зерен на 0,4-1,7 г по сравнению с фосфорно-калийным вариантом (44,1 г). В вариантах с обработкой растений ячменя препаратом Форсаж масса 1000 зерен была больше на 0,2 г по сравнению с вариантами без обработки (44,5 г), НСР₀₅ (Форсаж) = 0,1 г. Последствия известкования почвы по 0,5 и 1,0 г. к. на данный показатель не выявлено.

Таблица 3 – Влияние макроудобрений и микроудобрения Форсаж на технологические качества зерна ячменя сорта Зазерский 85 (среднее за 2020-2021 гг.) / Table 3 – The effect of macro fertilizers and micro fertilizers Forsazh on the technological qualities of barley grain of the Zazersky 85 variety (average for 2020-2021)

| Макроудобрение / Macro fertilization | Без известкования / Without liming | | Известкование в 1999-2000 гг. / Liming in 1999-2000 | | | |
|--|--|---|--|---|--|---|
| | без микро- удобрения / without mi- cronutrients | Форсаж, 1 л/га / Forsazh, 1 l/ha | 0,5 г. к. / 0.5 h. a. | | 1,0 г. к. / 1.0 h. a. | |
| | | | без микро- удобрения / without micro- nutrients | Форсаж, 1 л/га / Forsazh, 1 l/ha | без микро- удобрения / without mi- cronutrients | Форсаж, 1 л/га / Forsazh, 1 l/ha |
| <i>Масса 1000 зерен, г / Weight of 1000 grains, g</i> | | | | | | |
| Без удобрений / Without fertilizers | 43,6 | 43,8 | 43,5 | 43,4 | 43,4 | 43,6 |
| P ₄₀ K ₄₀ | 43,8 | 44,2 | 44,0 | 44,3 | 44,2 | 44,2 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 44,4 | 44,8 | 44,4 | 44,6 | 44,2 | 44,4 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | 45,1 | 45,6 | 44,9 | 45,4 | 45,2 | 45,2 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | 45,8 | 45,9 | 45,8 | 46,0 | 45,7 | 45,8 |
| НСР ₀₅ ч.р. 0,1; НСР ₀₅ (Форсаж) 0,1; НСР ₀₅ (удобр.) 0,2 / LSD ₀₅ ch.r. 0.1; LSD ₀₅ (Forsazh) 0.1; LSD ₀₅ (fert.) 0.2 | | | | | | |
| <i>Натурная масса, г/л / Natural grain weight, g/l</i> | | | | | | |
| Без удобрений / Without fertilizers | 637 | 638 | 635 | 636 | 635 | 636 |
| P ₄₀ K ₄₀ | 642 | 646 | 644 | 649 | 643 | 648 |
| N ₄₀ P ₄₀ K ₄₀ | 652 | 660 | 660 | 660 | 658 | 658 |
| N ₆₀ P ₄₀ K ₄₀ | 664 | 665 | 664 | 666 | 661 | 664 |
| N ₈₀ P ₄₀ K ₄₀ | 668 | 670 | 666 | 671 | 668 | 670 |
| НСР ₀₅ ч.р. 8; НСР ₀₅ (Форсаж) 2; НСР ₀₅ (удобр.) 4 / LSD ₀₅ ch.r. 8; LSD ₀₅ (Forsazh) 2; LSD ₀₅ (fert.) 4 | | | | | | |

Натурная масса зерна дает представление о его выполненности, что имеет большое технологическое значение. Чем выше натура зерна, тем больше в нем содержится полезных веществ. В нашем случае величина данного показателя достоверно зависела как от макроудобрений, так и микроудобрений.

В среднем за 2000-2021 гг. натурная масса зерна ячменя сорта Зазерский 85 находилась в пределах 635-671 г/л. Внесение минеральных удобрений в целом по опыту способствовало увеличению показателя на 9-33 г/л по сравнению с контролем (636 г/л, НСР₀₅ (удобр.) = 4 г/л), полного минерального удобрения N₄₀₋₈₀P₄₀K₄₀ – на 13-24 г/л по сравнению с вариантом P₄₀K₄₀ (645 г/л). Обработка посевов ячменя препаратом Форсаж (микро) увеличивала натуру зерна на 3 г/л по сравнению с вариантами без обработки (653 г/л, НСР₀₅ (Форсаж) = 2 г/л). В нашем случае все зерно ячменя относилось к 1 классу (согласно ГОСТ 28672-2019⁴ зерно 1 класса должно иметь натуру не менее 630 г/л).

Заключение. В условиях Республики Мордовия на черноземах выщелоченных

урожайность ячменя Зазерский 85 в среднем за 2000-2021 гг. без внесения средств химизации составила 1,82 т/га. Наибольшая прибавка урожайности (1,05 т/га) получена в варианте N₈₀P₄₀K₄₀ на фоне известкования по 1 г. к., проведенного в 1999-2000 гг., окупаемость 1 кг д. в. удобрений составила 6,6 кг зерна и получен дополнительный доход 1,38 руб/руб. Технологические показатели качества зерна ячменя улучшались как от действия минеральных удобрений, так и препарата Форсаж (микро). Внесение минеральных удобрений способствовало увеличению массы 1000 зерен на 0,6-2,3 г, натурной масса зерна ячменя – на 9-33 г/л. Опрыскивание растений ячменя микроудобрением Форсаж увеличивало данные показатели на 0,2 г и 3,0 г/л соответственно. Таким образом, под посевы ячменя сорта Зазерский 85 можно рекомендовать внесение минеральных удобрений в дозе N₈₀P₄₀K₄₀, а для улучшения технологических показателей качества зерна применение препарата Форсаж (микро) (1,0 л/га) в фазу кушения культуры (при финансовых возможностях).

⁴ГОСТ 28672-2019. Ячмень. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.

URL: https://allgosts.ru/67/060/gost_28672-2019

Список литературы

1. Калинчева М. М., Феоктистов Н. А., Акшарова В. Г. Минеральные удобрения – стабилизатор продуктивности ярового ячменя на серой лесной почве. Достижения науки и техники АПК. 2017;31(1):19-21. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29008696> EDN: YKUSST
2. Зинченко В. Е., Гринько А. В., Кульгин В. А. Влияние элементов технологии на продуктивность ярового ячменя в условиях обыкновенных черноземов. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2017;(5):48-51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30547759> EDN: ZSMJYB
3. Неверов А. А. Стимулирующая роль микроэлементов на стадии прорастания семян ячменя. Животноводство и кормопроизводство. 2022;105(1):159-170. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-159> EDN: PSMQYH
4. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*). The Journal of Agricultural Science. 1986;107(1):187-213. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600066946>
5. Вильдфлуш И. Р., Цыганов А. Р., Барбасов Н. В. Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику роста, продуктивность, элементный состав и качество зерна ячменя кормового назначения: рекомендации. Горки: БГСХА, 2019. 28 с. Режим доступа: <https://elib.baa.by/xmlui/bitstream/handle/123456789/1681/ecc43433.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
6. Morell F. J., Lampurlanes J., Alvaro-Fuentes J., Cantero-Martinez C. Yield and water use efficiency of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Long-term effects of tillage and N fertilization. Soil and Tillage Research. 2011;117:76-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.002>
7. Абашев В. Д., Светлакова Е. В., Попов Ф. А., Носкова Е. Н., Денисова А. В. Влияние возрастающих доз и соотношений минеральных удобрений на урожайность и качество зерна ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016;(1(50)):24-30. Режим доступа: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/8> EDN: VLMVXV
8. Малков Н. Г., Чухина О. В., Демидова А. И., Перекопский А. Н., Михайлюк А. И. Эффективность технологических приемов возделывания ярового ячменя. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2020;1(102):100-109. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10232> EDN: YKYSXE
9. Кульгин В. А., Пасько Т. И. Эффективность приемов возделывания ярового ячменя. Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018;(9):91-94. DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2018-10021> EDN: YLNJGH
10. Вильдфлуш И. Р., Мурзова О. В., Барбасов Н. В. Влияние новых форм макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность и качество голозерного овса и ярового ячменя. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2018;(2):106-109. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35184787> EDN: XRYYAH
11. Прокина Л. Н. Влияние минеральных удобрений и микроэлементов на фоне известкования почвы на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зернотравяном севообороте. Достижения науки и техники АПК. 2015;29(3):13-15. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23200160> EDN: TNRXQL
12. Прокина Л. Н. Зависимость урожайности и качества зерна сои от макро- и микроудобрений на фоне последствия известкования. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(4):417-424. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.4.417-424> EDN: SOIYPG
13. Прокина Л. Н. Комплексное использование средств химизации в посевах кострца и люцерны. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(4):378-386. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.378-386> EDN: QBQQJT

References

1. Kalincheva M. M., Feoktistov N. A., Aksharova V. G. Mineral fertilizers is a stabilizer of the productivity of spring barley on gray forest. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2017;31(1):19-21. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29008696>
2. Zinchenko V. E., Grinko A. V., Kulygin V. A. Influence of technology elements on spring barley yields under the conditions of common chernozems. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2017;(5):48-51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30547759>
3. Neverov A. A. Stimulating role of trace elements at the stage of germination of barley seeds. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(1):159-170. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-1-159>
4. Jones J. L., Allen E. J. Development in barley (*Hordeum sativum*). The Journal of Agricultural Science. 1986;107(1):187-213. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0021859600066946>

5. Vildflush I. R., Tsyganov A. R., Barbasov N. V. The influence of macro-, micro-fertilizers and growth regulators on the dynamics of growth, productivity, elemental composition and quality of feed barley grain: recommendations. Gorki: *BGSKhA*, 2019. 28 p.

URL: <https://elib.baa.by/xmlui/bitstream/handle/123456789/1681/ecd3433.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

6. Morell F. J., Lampurlanes J., Alvaro-Fuentes J., Cantero-Martinez C. Yield and water use efficiency of barley in a semiarid Mediterranean agroecosystem: Long-term effects of tillage and N fertilization. *Soil and Tillage Research*. 2011;117:76-84. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2011.09.002>

7. Abashev V. D., Svetlakova E. V., Popov F. A., Noskova E. N., Denisova A. V. Influence of increasing doses and ratios of mineral fertilizers on productivity and quality of barley grain. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2016;(1):24-30. (In Russ.).

URL: <https://www.agronauka-sv.ru/jour/article/view/8>

8. Malkov N. G., Chukhina O. V., Demidova A. I., Perekopskiy A. N., Mikhaylyuk A. I. Effectiveness of spring barley cultivation practices. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. 2020;1(102):100-109. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2020-10232>

9. Kulygin V. A., Pasko T. I. The effectiveness of the methods of cultivation spring barley. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk = International Journal of Humanities and Natural Sciences*. 2018;(9):91-94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2500-1000-2018-10021>

10. Vildflush I. R., Murzova O. V., Barbasov N. V. The influence of new forms of macro-, micro-fertilizers and growth regulators on the yield and quality of naked oats and spring barley. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy*. 2018;(2):106-109. (In Belarus). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35184787>

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

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

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

13. Prokina L. N. Integrated use of chemicals in smooth brome and alfalfa sowings. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(4):378-386. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.4.378-386>

Сведения об авторах

✉ **Прокина Людмила Николаевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией агрохимии, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Пугаев Сергей Васильевич, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории агрохимии, Мордовский НИИ сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», д. 5, ул. Мичурина, р.п. Ялга, г. Саранск, Республика Мордовия, Российская Федерация, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

Information about the authors

✉ **Lyudmila N. Prokina**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Head of the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-0376-7031>

Sergey V. Pugaev, PhD in Biology, senior researcher, the Laboratory of Agricultural Chemistry, Mordovia Research Agricultural Institute – branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, 5, Michurin str., Yalga, Saransk, Republic of Mordovia, Russian Federation, 430904, e-mail: niish-mordovia@mail.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-8421-2913>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.448-458>

УДК 636.082

Направление селекционного процесса в стаде коров айрширской породы в условиях Вологодской области

© 2023. Н. И. Абрамова , О. Л. Хромова, Н. В. Зенкова, М. О. Селимян
ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», г. Вологда,
Российская Федерация

Направление селекционного процесса в стадах и популяциях молочных пород крупного рогатого скота на основе фактических показателей и изменчивости признака является одним из основных факторов, позволяющих определить эффективность селекционных мероприятий. Исходным материалом для исследований послужили данные племенного учета ($n = 681$) коров айрширской породы СХПК ПЗ «Майский» Вологодской области. Поголовье коров было распределено по поколениям (195 коров с первой незаконченной лактацией, 177 коров с первой законченной лактацией, 130 коров по второй лактации, 179 коров по третьей лактации и старше). По результатам исследований установлено: у животных современной генерации в ранние возрастные периоды превосходство фактических показателей по живой массе телок составляет от 28 до 39 кг. Следовательно, с каждым новым поколением животные имеют лучшие показатели развития, о чем свидетельствуют коэффициенты вариации (изменчивости) живой массы телок от слабой до умеренной $C_v = 5,3$ до $10,6$ % в зависимости от генерации. Выявлено сокращение возраста первого осеменения телок до 13,4 месяца (-2,2 месяца) и первого плодотворного осеменения до 14,0 месяцев (-2,1 месяца) у животных от полновозрастной к первой незаконченной лактации. В стаде проводили направленный отбор коров по уровню молочной продуктивности матерей по первой лактации – эффективность отбора составила 977 кг молока, по наивысшей – 456 кг. Подбор быков-производителей проводили по уровню продуктивности маточного поголовья, однако следует отметить, что интенсивность подбора у коров по незаконченной первой (10968 кг молока) и первой лактации (10635 кг молока) снижается по сравнению с коровами по второй лактации (11417 кг молока). Следовательно, в стадах и популяциях молочных пород крупного рогатого скота для достижения генетического прогресса продуктивности в следующем поколении необходимо определять направление селекционного процесса.

Ключевые слова: порода, айрширская, коровы, изменчивость, отбор, подбор, генерация, надой, МДЖ, МДБ, живая масса

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук» (тема № 075-01502-22-00).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Абрамова Н. И., Хромова О. Л., Зенкова Н. В., Селимян М. О. Направление селекционного процесса в стаде коров айрширской породы в условиях Вологодской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):448-458. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.448-458>

Поступила: 07.04.2023

Принята к публикации: 22.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

The direction of the breeding process in a herd of Ayrshire breed cows in the conditions of the Vologda region

© 2023. Natalya I. Abramova , Olga L. Khromova, Natalya V. Zenkova,
Maksim O. Selimyan

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russian Federation

The direction of the breeding process in herds and populations of dairy cattle breeds based on the actual indicators and variability of the trait is one of the main factors that allows to determine the effectiveness of breeding measures. As the initial material for the research there were taken the data of breeding records ($n=681$) of Ayrshire breed cows of the agricultural complex "Maysky" of the Vologda region. The number of cows was distributed by generations (195 cows with the first incomplete lactation, 177 cows with the first completed lactation, 130 cows for the second lactation, 179 cows for the third lactation and older). According to the research results, the superiority of the actual indicators for the live weight of heifers in animals of modern generation in early age periods was from 28 to 39 kg. Consequently, with each new generation, animals have better development indicators, as evidenced by the indicators of variation (variability) of the live weight of heifers in the early age periods of weak and moderate $C_v = 5.3$ to 10.6 %, depending on generation. The reduction of the age of the first insemination of heifers to 13.4 months (-2.2 months) and the first fruitful insemination to 14.0 months (-2.1 months) in animals from full-age to the first incomplete lactation was revealed. A targeted selection of cows was carried out in the herd according to the level of milk productivity of mothers after the first lactation - the selection efficiency was 977 kg of milk,

according to the highest - 456 kg. The selection of breeding bulls was carried out according to the level of productivity of the breeding stock, however, it should be noted that the intensity of selection in cows for the incomplete first (10968 kg of milk) and first lactation (10635 kg of milk) is reduced compared to cows for the second lactation (11417 kg of milk). Consequently, in herds and populations of dairy cattle breeds, in order to achieve genetic progress in productivity in the next generation, it is necessary to determine the direction of the breeding process.

Keywords: breed, Ayrshire, cows, variability, selection, mating, generation, milk yield, MFF (Mass Fat Fraction), MPF (Mass Protein Fraction), live weight

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 Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences (theme No. 075-01502-22-00).

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

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

For citation: Abramova N. I., Khromova O. L., Zenkova N. V., Selimyan M. O. The direction of the breeding process in a herd of Ayrshire breed cows in the conditions of the Vologda region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):448-458. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.448-458>

Received: 07.04.2023

Accepted for publication: 22.05.2023

Published online: 28.06.2023

В молочном скотоводстве для получения достоверного улучшающего эффекта по селекционируемым признакам в следующем поколении необходимо определить направление селекционного процесса в стадах. Селекция – это эволюционный процесс, направленный на совершенствование племенных и продуктивных признаков, включающий определенные принципы отбора и подбора животных.

В стратегии развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года по распоряжению Правительства РФ от 8 сентября 2022 г. № 2567-р определена цель «Повышение научно-технологического уровня агропромышленного комплекса за счет развития селекции и генетики». Для решения указанной задачи реализуются мероприятия по улучшению генетического потенциала в животноводстве¹.

Приоритетным направлением развития сельского хозяйства является эффективное ведение молочного скотоводства в условиях интенсификации производства молока на современных комплексах с учетом кормопроизводства, кормления и разведения молочного скота в условиях Северо-Западной зоны Российской Федерации [1].

Обеспечение независимости от внешних рынков племенной продукции и возможного достижения равных позиций в данной отрасли с признанными лидерами необходима устойчивая и стабильно-эффективная система отечественного племенного животноводства [2]. Для осуществления поставленных задач по импортозамещению в молочном скотоводстве необходим тщательный анализ племенных и

продуктивных качеств маточного поголовья отечественной популяции и мониторинг племенной ценности отечественных и зарубежных (Финляндия, Швеция, Дания, Канада, США) быков-производителей [3].

Эволюция молочного стада невозможна без наличия фенотипической изменчивости между животными и знания ее структуры. Поэтому первоочередной задачей при планировании селекционной работы со стадом является анализ компонентов фенотипической изменчивости [4]. Успех селекционно-племенной работы заключается в создании разнообразия в селекционных группах животных по хозяйственно полезным признакам, которые являются основой селекционного процесса и двигателем прогресса в популяции [5].

При внедрении интенсивных технологий центральное место занимает племенная работа, цель которой сводится к поиску наиболее ценных генотипов и максимальному использованию их в популяции. По результатам исследований отечественных и зарубежных ученых подтверждаются данные направления [6, 7]. Установлено влияние генетического улучшения популяций, прежде всего за счет обновления поголовья используемых быков, закрепления за маточным поголовьем производителей с более высоким потенциалом по продуктивности материнских предков [8].

Для дальнейшего совершенствования молочного скота основным генетическим резервом являются быки-производители, полученные от лучших представителей породного генофонда. Только тщательный отбор и оценка производителей по способности к передаче

¹Гарант.ру. Информационно-правовой портал. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/405172287/> (дата обращения: 16.11.2022 г.).

желательных хозяйственно полезных признаков обеспечат положительную динамику селекционного процесса [9]. Селекционный процесс предусматривает постоянный мониторинг популяционно-генетических характеристик, как в отдельных стадах, так и в породных популяциях, необходимый для его корректировки и оптимизации [10].

В трудах коллектива авторов представлены методы селекционно-племенной работы в Вологодской области, на основе которых создан новый тип айрширской породы Прилуцкий, приспособленный к условиям интенсивной промышленной технологии, отличающийся высоким надоем, повышенной жирномолочностью, белкомолочностью [11].

Для рентабельного молочного скотоводства в настоящее время в стадах проводится целенаправленная селекция на повышение генетического потенциала животных нового поколения [12].

Прогнозирование эволюции надоев молока целесообразно использовать в диагностических целях и является важным инструментом при выборе стратегии управления и селекционной политики ведения стада [13].

Геномная селекция – это еще одно важное направление, позволяющее в дальнейшем проводить отбор подходящих животных сразу после рождения, либо на стадии подбора пар при разведении. Такой подход позволит значительно сократить расходы на выращивание и содержание малоперспективных для производства молока животных [14, 15].

Зарубежными учеными установлена возможность обмена племенным материалом между популяциями голштинской породы Дании и США с целью повышения генетического прогресса. Выгодное сотрудничество между популяциями молочного скота зависит от нескольких факторов, среди которых основным является – сходство селекционных целей, равенство по величине весовых коэффициентов у одинаковых селекционных признаков в индексах племенной ценности [16, 17].

Популяции молочных пород крупного рогатого скота являются динамичными структурами по количественным и качественным признакам. Они изменяются под влиянием селекционно-племенной работы и в зависимости от условий внешней среды. Это обуславливает актуальность и новизну исследований на современных популяциях молочных пород [18].

В своей статье Н. А. Зиновьева на основе глубоких исследований выявила, что в странах с развитым скотоводством искусственным осеменением охвачено до 100 % поголовья молочного крупного рогатого скота. Генетический потенциал лучших быков-производителей тиражируется в их потомстве (от нескольких сотен тысяч до более миллиона особей) (<http://www.holsteinusa.com>, цит. по 34), что существенно ускоряет генетический прогресс в селекции [19].

Современные приоритеты в исследованиях ориентированы на прогресс в селекции крупного рогатого скота посредством интеграции GE-технологий в программы разведения [20].

Технологическая модернизация отрасли животноводства способствует успешной реализации генетического потенциала животных, который определяет рост молочной продуктивности в породных популяциях.

Актуальность исследований заключается в определении современного селекционного процесса в стаде и разработке перспективных направлений по совершенствованию племенных и продуктивных признаков животных.

Цель исследований – изучить изменчивость селекционируемых признаков с учетом генерации животных для определения направления селекционного процесса в стаде.

Новизна исследований – проведен анализ современного состояния стада на основе описательной статистики для определения направления селекционного процесса и оптимальных параметров отбора и подбора животных.

Материал и методы. Исследования проведены на подконтрольном поголовье коров айрширской породы СХПК «Племзавод Майский» Вологодского района Вологодской области. Для изучения была сформирована база данных в количестве 687 коров, которая включала селекционируемые признаки коров разной генерации: по 1-ой незаконченной лактации – 195 голов, по 1-ой законченной лактации – 177 голов, по 2-ой лактации – 130; по 3-ей лактации и старше – 179 голов, с учетом продуктивности материнских предков, живой массы телок в ранние возрастные периоды. Селекционируемые признаки включали: развитие телок (при рождении, 6, 10, 12, 18 месяцев, живую массу телок при 1 осеменении, первом плодотворном осеменении, первом отеле); продуктивность коров по 1-ой, 2-ой и 3-ей лактации и старше с учетом продуктивности предков.

Для обоснования результатов исследований использовали общенаучные методы (системный подход, метод обобщения и др.), статистические (группировки, выборки, сравнения), графические приемы. В процессе исследований использовали стандартное программное обеспечение для персональных компьютеров Microsoft Word, Microsoft Excel.

Современная селекционная ситуация в стаде определена на основе описательной статистики, которая позволяет выявить направления селекционного процесса с использованием средних показателей, их отклонения, максимальные, минимальные значения и изменчивость признаков.

Таблица 1 – Изменчивость селекционируемых признаков коров первого отела с незаконченной лактацией /

Table 1 – Variability of breeding traits of cows of the first calving with incomplete lactation

| Признак / Breeding trait | n | Описательная статистика / Descriptive statistics | | | C _v , % |
|---|-----|--|------|-------|--------------------|
| | | M±m | min | max | |
| Живая масса, кг / Live weight, kg: | | | | | |
| при рождении / at birth | 195 | 32,0±0,2 | 28,0 | 38,0 | 6,8 |
| 6 месяцев / 6 months | 195 | 216±1 | 176 | 261 | 7,7 |
| 10 месяцев / 10 months | 195 | 327±2 | 257 | 396 | 8,2 |
| 12 месяцев / 12 months | 195 | 375±2 | 318 | 428 | 6,6 |
| 18 месяцев / 18 months | 195 | 467±2 | 407 | 516 | 4,8 |
| после 1-го осеменения / 1st insemination | 195 | 407±2 | 350 | 477 | 5,7 |
| после 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 195 | 416±2,1 | 350 | 521 | 6,9 |
| Возраст, мес. / Age, months.: | | | | | |
| 1-го осеменения / 1st insemination | 195 | 13,4±0,1 | 12,0 | 17,0 | 6,3 |
| 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 195 | 14,0±0,1 | 12,0 | 21,0 | 11,2 |
| 1-го отела / 1st calving | 195 | 23,3±0,1 | 21,0 | 31,0 | 7,6 |
| Мать 1 лактация / Mother 1 lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 195 | 8121±88 | 5028 | 12124 | 15,1 |
| МДЖ, % / MFF, % | 195 | 4,10±0,01 | 3,80 | 4,56 | 3,5 |
| МДБ, % / MPF, % | 195 | 3,43±0,01 | 3,06 | 3,81 | 3,3 |
| Мать наивысшая лактация / Mother the highest lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 195 | 9574±91 | 6194 | 13086 | 13,3 |
| МДЖ, %, / MFF, % | 195 | 4,06±0,01 | 3,80 | 4,45 | 3,4 |
| МДБ, % / MPF, % | 195 | 3,37±0,01 | 3,08 | 3,73 | 3,6 |
| Мать отца / Father's mother: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 195 | 10968±93 | 9056 | 13928 | 11,9 |
| МДЖ, % / MFF, % | 195 | 4,59±0,04 | 3,93 | 6,20 | 11,1 |
| МДБ, % / MPF, % | 186 | 3,50±0,02 | 2,95 | 3,80 | 6,6 |

Изменчивость признака живой массы телок в ранние возрастные периоды в зависимости от генерации животных (коровы с незаконченной лактацией, первой, второй, третьей

Результаты и их обсуждение. Направление селекционного процесса в стаде определяли на основе изменчивости или вариабельность признака (C_v – коэффициент вариации). Изменчивость признаков в стаде определяет материал для отбора и лежит в основе совершенствования племенных и продуктивных признаков сельскохозяйственных животных.

По результатам описательной статистики и изменчивости селекционируемых признаков по коровам с незаконченной лактацией, 1-ой, 2-ой и полновозрастной лактаций определено направление селекционного процесса в стаде (табл. 1, 2, 3, 4).

и старше лактаций) свидетельствует о слабой и умеренной вариации селекционируемого признака C_v= от 5,3 до 10,6%. Необходимо отметить в градации (умеренная изменчивость)

наибольшую вариабельность живой массы телок в 6 и 12 месяцев $C_v = 10,6\%$; $9,0\%$ (коровы с первой законченной лактацией).

У коров с незаконченной лактацией коэффициент изменчивости признака развития

живой массы в ранние возрастные периоды имел умеренную степень от 4,8 до 8,2 %. Данные показатели свидетельствуют о стабильности увеличения живой массы телок в определенные периоды развития.

*Таблица 2 – Изменчивость селекционируемых признаков коров по 1-ой лактации /
Table 2 – Variability of breeding traits of cows for 1 lactation*

| Признак / Breeding trait | n | Описательная статистика / Descriptive statistics | | | C _v , % |
|---|-----|---|------|-------|--------------------|
| | | M±m | min | max | |
| Дочери – 1-я лактация / Daughters – 1 lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 177 | 7922±73 | 6002 | 10813 | 12,2 |
| МДЖ, % / MFF, % | 177 | 4,02±0,01 | 3,80 | 4,47 | 3,3 |
| МДБ, % / MPF, % | 177 | 3,27±0,01 | 3,01 | 3,66 | 3,9 |
| живая масса, кг / live weight, kg | 177 | 500±3 | 450 | 617 | 7,3 |
| сервис-период, дни / Service period, day | 175 | 121±4 | 61 | 292 | 47,4 |
| надой за 100 дней, кг / milk yield in 100 days, kg | 177 | 3069±27 | 2114 | 4021 | 11,7 |
| Живая масса, кг / Live weight, kg: | | | | | |
| при рождении / at birth | 177 | 30,5±0,1 | 20,0 | 35,0 | 5,3 |
| 6 месяцев / 6 months | 177 | 213±2 | 119 | 269 | 10,6 |
| 10 месяцев / 10 months | 177 | 322±2 | 240 | 384 | 9,0 |
| 12 месяцев / 12 months | 177 | 365±2 | 282 | 442 | 7,5 |
| 18 месяцев / 18 months | 177 | 451±2 | 362 | 535 | 6,0 |
| после 1-го осеменения / 1st insemination | 177 | 398±2 | 329 | 473 | 6,0 |
| после 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 177 | 407±2 | 335 | 512 | 7,1 |
| Возраст, мес. / Age, months.: | | | | | |
| 1-го осеменения / 1st insemination | 177 | 13,8±0,1 | 11,0 | 17,0 | 7,0 |
| 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 177 | 14,4±0,1 | 11,0 | 21,0 | 10,5 |
| 1-го отела / 1st calving | 177 | 23,6±0,1 | 21,0 | 31,0 | 7,2 |
| Мать 1-я лактация / Mother 1 lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 177 | 8059±98 | 4613 | 11725 | 16,2 |
| МДЖ, % / MFF, % | 177 | 4,12±0,01 | 3,81 | 4,49 | 3,6 |
| МДБ, % / MPF, % | 177 | 3,40±0,01 | 3,05 | 3,74 | 3,3 |
| Мать наивысшая лактация / Mother the highest lactation: надой, кг / milk yield, kg | 177 | 9634±86 | 6659 | 13086 | 11,9 |
| МДЖ, % / MFF, % | 177 | 4,09±0,01 | 3,81 | 4,47 | 3,6 |
| МДБ, % / MPF, % | 177 | 3,38±0,01 | 3,04 | 3,64 | 3,1 |
| Мать отца / Father's mother: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 177 | 10635±96 | 8386 | 13436 | 12,0 |
| МДЖ, % / MFF, % | 177 | 4,61±0,05 | 3,90 | 6,20 | 14,1 |
| МДБ, % / MPF, % | 165 | 3,59±0,01 | 3,20 | 3,96 | 4,9 |

При умеренной изменчивости признака живой массы телок в ранние возрастные периоды следует отметить увеличение живой массы у коров с незаконченной лактацией, по сравнению с животными по половозрастной лактации. Например: у коров по 3-ей лактации и

старше живая масса в 6 месяцев составляла 184 кг, по 2-ой лактации – 188 кг, по 1-ой – 213 кг, незаконченной 1-ой – 216 кг. Разница живой массы телок в 6 месяцев составила 32 кг, что свидетельствует о направленном выращивании ремонтного молодняка в стаде.

Динамика изменения живой массы телок в 6, 10, 12, 18 месяцев с учетом генерации животных свидетельствует о превосходстве живой массы последних двух генераций (коровы с первой незаконченной и законченной лактацией). Наибольшим превосходством отличались телки по живой массе от 6 до 12 месяцев, разница составила 40 кг. Фактические показатели живой массы телок в 6, 10, 12, 18 месяцев

свидетельствуют о превосходстве животных современной генерации (коровы с незаконченной 1-ой лактацией и по 1-ой лактации). В 6 месяцев превосходство составило 32 кг (216 кг), в 10 месяцев – 40 кг (327 кг), 12 месяцев – 40 кг (375 кг), 18 месяцев – 27 кг (467 кг). Это свидетельствует о том, что с каждым поколением животные имеют лучшие показатели развития.

Таблица 3 – Изменчивость селекционируемых признаков коров по 2-ой лактации / Table 3 – Variability of breeding traits of cows by 2nd lactation

| Признак / Breeding trait | n | Описательная статистика / Descriptive statistics | | | C _v , % |
|---|-----|--|------|-------|--------------------|
| | | M±m | min | max | |
| Дочери 2-я лактация / Daughters – 2 lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 130 | 8759±97 | 6022 | 11772 | 12,7 |
| МДЖ, % / MFF, % | 130 | 4,00±0,01 | 3,80 | 4,58 | 3,3 |
| МДБ, % / MPF, % | 130 | 3,29±0,01 | 3,07 | 3,69 | 3,8 |
| живая масса, кг / live weight, kg | 130 | 517±2 | 477 | 604 | 4,7 |
| надой за 100 дней, кг / milk yield in 100 days, kg | 130 | 3795±40 | 2864 | 5231 | 11,9 |
| Живая масса, кг / Live weight, kg: | | | | | |
| при рождении / at birth | 130 | 30,6±0,1 | 25,0 | 33,0 | 3,7 |
| 6 месяцев / 6 months | 130 | 188±2 | 147 | 240 | 9,2 |
| 10 месяцев / 10 months | 130 | 288±2 | 243 | 344 | 7,5 |
| 12 месяцев / 12 months | 130 | 341±2 | 284 | 419 | 8,1 |
| 18 месяцев / 18 months | 130 | 436±2 | 369 | 519 | 5,7 |
| после 1-го осеменения / 1st insemination | 130 | 393±2 | 352 | 461 | 5,4 |
| после 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 130 | 400±2 | 352 | 472 | 6,4 |
| Возраст, мес. / Age, months.: | | | | | |
| 1-го осеменения / 1st insemination | 130 | 14,4±0,1 | 13,0 | 18,0 | 6,6 |
| 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 130 | 15,0±0,1 | 13,0 | 20,0 | 9,5 |
| 1-го отела / 1st calving | 130 | 24,5±0,1 | 22,0 | 31,0 | 6,9 |
| Мать 1-я лактация / Mother 1 lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 129 | 7665±106 | 3890 | 9950 | 15,8 |
| МДЖ, % / MFF, % | 129 | 4,14±0,01 | 3,85 | 4,42 | 3,3 |
| МДБ, % / MPF, % | 129 | 3,42±0,01 | 2,99 | 3,80 | 4,3 |
| Мать наивысшая лактация / Mother the highest lactation: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 129 | 9399±110 | 6368 | 12675 | 13,3 |
| МДЖ, % / MFF, % | 129 | 4,13±0,01 | 3,84 | 4,47 | 3,4 |
| МДБ, % / MPF, % | 129 | 3,40±0,01 | 3,13 | 3,91 | 3,6 |
| Мать отца / Father's mother: | | | | | |
| надой, кг / milk yield, kg | 130 | 11417±142 | 8386 | 15335 | 14,2 |
| МДЖ, % / MFF, % | 130 | 4,54±0,05 | 3,90 | 6,20 | 13,0 |
| МДБ, % / MPF, % | 114 | 3,59±0,02 | 3,20 | 3,96 | 5,6 |

При первом осеменении и первом плодотворном осеменении разница живой массы телок незначительная – 14-16 кг (407, 416 кг). Это является обоснованием отбора телок в стадах по живой массе для первого осеменения.

Выявлено сокращение фактических показателей возраста первого осеменения в новой генерации животных на 2,2 мес. (от 15,6 до 13,4 мес.) и сокращение возраста плодотворного осеменения на 2,1 мес. (от 16,1 до 14,0 мес.).

Это подтверждает факт улучшения выращивания ремонтного молодняка и способности его к более раннему возрасту плодотворного осеменения достигать оптимальной живой массы 400 кг и выше. Показатель вариации

признака возраст первого осеменения и возраст первого плодотворного осеменения умеренный от 6,3 до 10,5%, фактические показатели изменялись от 12 до 17 месяцев и от 12 до 21 месяца соответственно.

*Таблица 4 – Изменчивость селекционируемых признаков коров по 3-ей лактации и старше /
Table 4 – Variability of breeding traits of cows for the 3rd lactation and older*

| Признак / Breeding trait | n | Описательная статистика / Descriptive statistics | | | C _v , % |
|---|-----|---|------|-------|--------------------|
| | | M±m | min | max | |
| Дочери – 3-я лактация и старше / Daughters – 3 lactation: надой, кг / milk yield, kg | 179 | 8628±101 | 6001 | 11917 | 15,7 |
| МДЖ, % / MFF, % | 178 | 3,98±0,01 | 3,80 | 4,49 | 3,5 |
| МДБ, % / MPF, % | 178 | 3,26±0,01 | 3,02 | 3,65 | 3,9 |
| живая масса, кг / live weight, kg | 179 | 550±2 | 490 | 639 | 5,8 |
| надой за 100 дней, кг / milk yield in 100 days, kg | 179 | 3801±42 | 2397 | 5215 | 14,7 |
| Живая масса, кг / Live weight, kg: при рождении / at birth | 179 | 30±0 | 25 | 36 | 6,1 |
| 6 месяцев / 6 months | 179 | 184±1 | 140 | 239 | 8,9 |
| 10 месяцев / 10 months | 179 | 287±2 | 214 | 363 | 7,5 |
| 12 месяцев / 12 months | 179 | 335±2 | 268 | 459 | 8,3 |
| 18 месяцев / 18 months | 179 | 440±2 | 382 | 601 | 7,5 |
| после 1-го осеменения / 1st insemination | 179 | 409±2 | 350 | 555 | 8,1 |
| после 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 179 | 416±3 | 350 | 560 | 9,3 |
| Возраст, мес. / Age, months.: 1-го осеменения / 1st insemination | 179 | 15,6±0,1 | 12,0 | 22,0 | 8,9 |
| 1-го плодотворного осеменения / 1st fruitful insemination | 179 | 16,1±0,1 | 12,0 | 22,0 | 10,5 |
| 1-го отела / 1st calving | 179 | 25,8±0,2 | 21,0 | 36,0 | 10,1 |
| Мать 1-я лактация / Mother 1 lactation: надой, кг / milk yield, kg | 177 | 7144±92 | 4135 | 9950 | 17,1 |
| МДЖ, % / MFF, % | 177 | 4,17±0,01 | 3,82 | 4,81 | 4,6 |
| МДБ, % / MPF, % | 173 | 3,39±0,01 | 3,05 | 3,92 | 4,2 |
| Мать наивысшая лактация / Mother the highest lactation: надой, кг / milk yield, kg | 177 | 9118±104 | 5122 | 12637 | 15,2 |
| МДЖ, % / MFF, % | 177 | 4,14±0,01 | 3,85 | 4,92 | 4,2 |
| МДБ, % / MPF, % | 177 | 3,39±0,01 | 3,10 | 3,92 | 3,9 |
| Мать отца / Father's mother: надой, кг / milk yield, kg | 179 | 10542±154 | 7461 | 15335 | 19,5 |
| МДЖ, % / MFF, % | 179 | 4,47±0,03 | 3,90 | 5,42 | 9,4 |
| МДБ, % / MPF, % | 152 | 3,42±0,02 | 2,95 | 3,96 | 5,7 |

Надой матерей по 1-й и наивысшей лактации имел значительную вариабельность признака C_v = 11,9 до 17,1 % (табл. 1, 2, 3, 4). По наивысшей лактации матерей отмечалась незначительная тенденция увеличения надоя от 9118 кг (полновозрастные коровы) до 9634 кг молока (коровы по 1-ой лактации). Это свиде-

тельствует об эффективности отбора коров по надою матерей за наивысшую лактацию, улучшающий эффект составляет 516 кг молока. Следовательно, отбор по продуктивности материнских предков имеет наибольшую результативность и является одним их направлений селекционного процесса в стаде.

Коэффициент изменчивости надоя матерей отцов имел значительную степень вариации от 11,9 % (у коров с 1-ой незаконченной лактацией) до 19,5 % (у коров по 3-ей лактации и старше). При этом отмечается стабилизация уровня надоя матерей отцов, то есть подбор быков-производителей в стаде проводился в соответствии с уровнем надоя матерей – 10542-11417 кг молока.

По массовой доле жира (МДЖ) в молоке коров современного стада по всем учтенным лактациям выявлена слабая вариабельность признака 3,3-3,5 %, фактический показатель составил от 3,98 % (у полновозрастных коров) до 4,02 % (у коров по 1-й лактации), разница – всего 0,04 %.

Матери по 1-ой и наивысшей лактации имеют аналогично слабую изменчивость МДЖ от 3,3 до 4,6 %. При этом отмечается незначительная тенденция снижения МДЖ в молоке матерей по наивысшей лактации от 4,14 % (у коров 3-ей лактации и старше) до 4,06 % (у коров с незаконченной 1-ой лактацией), разница составила 0,08 %.

В стаде проводили подбор быков-производителей с учетом МДЖ в молоке матерей от 4,47 % (у коров 3-ей лактации и старше) до 4,61 % (у коров с 1-ой незаконченной лактацией), эффективность подбора составила +0,14%.

Показатели массовой доли белка (МДБ) в молоке коров по всем лактациям не имели значительных различий $C_v = 3,27-3,29\%$ (-0,02%), поэтому коэффициент изменчивости имел слабую вариабельность признака 3,8-3,9 % (-0,01 %).

Аналогичная ситуация по изменчивости МДБ материнских предков, средний коэффициент вариации составил 3,1-4,1 %, при этом фактический показатель МДБ изменялся незначительно от 3,37 до 3,42 % (0,05 %). Это свидетельствует об отсутствии вариабельности признака МДБ в молоке коров современного стада и их матерей.

В стаде выявлена эффективность подбора быков по уровню МДБ в молоке матерей, изменчивость признака в поколениях увеличилась на +1,7 % (4,9-6,6 %), при этом фактический показатель увеличился на 0,17 % от 3,42 до 3,59 %.

Изменчивость удоя коров за 100 дней лактации имеет значительную вариацию признака $C_v = 11,7-14,7\%$, при этом отмечается снижение удоя от 3801 кг молока у коров по 3-ей лактации и старше до 3069 кг молока у коров по 1-й лактации, разница составила 732 кг молока.

Следовательно, наиболее эффективное направление селекционного процесса в стаде является отбор по надоем матерей, МДЖ в молоке матерей отцов, возрасту 1 отела и живой массе телок в ранние возрастные периоды.

Генетический прогресс надоя коров современного стада основывается на отборе и подборе лучшего племенного материала. Данные результатов исследований подтверждают эффективность отбора коров по продуктивности матерей по 1-ой лактации и наивысшей. Надой матерей по 1-ой лактации у коров современного стада по первой лактации составил 8059 кг молока, что превосходило на 915 кг показатели матерей у коров по 3-ей лактации и старше (7144 кг) (табл. 2, 4).

Аналогичная закономерность отмечается по наивысшей лактации матерей, увеличение составило 518 кг молока у коров по 1-ой лактации (9634 кг молока). Однако необходимо отметить, что надой коров современного стада по 1-ой лактации 7922 кг молока находится на уровне продуктивности матерей по 1-ой лактации 8059 кг (-137 кг). По 2-ой и полновозрастной лактациям коров надой находится на одном уровне 8759 и 8628 кг молока соответственно. Разница составила 131 кг молока. Следовательно, в стаде не реализуется генетический потенциал животных.

В стаде проводили направленный отбор коров по уровню молочной продуктивности матерей по 1-ой и наивысшей лактации, что является одним из направлений селекционных мероприятий в стаде. К маточному поголовью проводили однородный улучшающий подбор быков-производителей по уровню продуктивности их матерей.

Наибольший надой матерей отцов – 11417 кг молока имели коровы по 2-ой лактации по сравнению с животными по 3-ей лактации и старше 10542 кг молока (+875 кг). Однако следует отметить, что надой матерей отцов у коров по 1-ой и незаконченной 1-ой лактации уступает до 782 кг молока (10635 кг). Это свидетельствует о снижении интенсивности подбора быков-производителей по уровню продуктивности матерей. Поэтому необходимо проводить направленный подбор быков-производителей для маточного поголовья с учетом повышения интенсивности подбора по селекционируемым признакам, что позволит увеличить генетический потенциал животных нового поколения.

Заключение. По результатам исследований установлено направление селекционного процесса в стаде по разведению айрширской

породы крупного рогатого скота. С учетом генерации животных выявлено улучшение выращивания ремонтного молодняка, превосходство по живой массе телок в 6 месяцев составило 32 кг, 10 и 12 месяцев – 40 кг, 18 месяцев – 27 кг.

В стаде проводили направленный отбор матерей по уровню продуктивности. Эффективность отбора составила 977 кг молока по первой лактации матерей, по наивысшей лактации – 456 кг молока.

Подбор быков-производителей проводили с учетом уровня продуктивности материнских предков, эффективность подбора составила 875 кг молока. Однако следует отметить отсутствие постоянного прогресса в поколениях

животных при подборах, у коров по 2-ой лактации надой матерей отцов составил 11417 кг молока, по 1-ой лактации – 10635 кг (-782 кг).

Следовательно, определение современного состояния и направления селекционного процесса в стаде позволит проводить корректировку по отбору и подбору животных, направленную на повышение эффективности племенной работы. Результаты исследований целесообразно использовать в разработках по перспективным направлениям совершенствования племенных и продуктивных признаков в стадах и популяциях молочных пород крупного рогатого скота в образовательных и научно-исследовательских учреждениях.

Список литературы

1. Маклахов А. В., Тяпугин Е. А., Абрамова Н. И., Власова Г. С., Бургомистрова О. Н., Хромова О. Л., Богорадова Л. Н., Зенкова Н. В. Система управления селекционным процессом в популяциях молочного скота в условиях Северо-Западной зоны Российской Федерации: рекомендации. Вологда-Молочное: Вологодская ГМХА, 2017. 52 с.
2. Лабинов В. В., Трифанов А. В. Об отечественном племенном молочном животноводстве. Зоотехния. 2017;(4):25-27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28874737> EDN: YHWNCB
3. Тулинова О. В., Петрова А. В., Соловей Г. П. Использование айрширских производителей разного происхождения. Молочное и мясное скотоводство. 2015;(5):30-34. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23894273> EDN: UCWVOZ
4. Кузнецов В. М. Современные методы анализа и планирования селекции в молочном стаде. Киров: Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2001. 116 с. Режим доступа: https://vm-kuznetsov.ru/files/book/book_2.pdf
5. Лабинов В. В., Прохоренко П. Н. Модернизация черно-пестрой породы крупного рогатого скота в России на основе использования генофонда голштинов. Молочное и мясное скотоводство. 2015;(1): 2-7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23005735> EDN: TJLHNP
6. Столповский Ю. А., Захаров-Гезехус И. А. Проблема сохранения генофондов domestцированных животных. Вавиловский журнал генетики и селекции. 2017;21(4):477-486. DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.266> EDN: YTZYFR
7. Tulinova O. V., Zhyvoglazova E. V., Anistenok S. V. Dependence of the reproductive performance on the level of inbreeding in Ayrshire first calving cows. Reproduction in domestic animals. 2018;53(2):202.
8. Мырнин С. В. Развитие племенного животноводства Российской Федерации: роль регионального информационно-селекционного центра в системе племенной работы. Аграрный вестник Урала. 2017;(2(156)):38-40. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29027537> EDN: YLFLLN
9. Ескин Г. В., Племяшов К. В., Турбина И. С., Анистенко С. В. Состояние отечественного генофонда быков айрширской породы. Молочное и мясное скотоводство. 2015;(5):5-8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23894264> EDN: UCWVLN
10. Абрамова М. В., Ильина А. В., Коновалов А. В., Зырянова С. В. Мониторинг селекционно-генетических характеристик продуктивных признаков крупного рогатого скота. Молочное и мясное скотоводство. 2021;(8):19-23. DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.46.39.005> EDN: TLBDIA
11. Тяпугин Е. А., Тяпугин С. Е., Абрамова Н. И., Богорадова Л. Н., Власова Г. С. Метод создания нового типа «Прилуцкий» айрширской породы крупного рогатого скота. Достижения науки и техники АПК. 2011;(1):64-65. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16333627> EDN: NTLDSF
12. 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: DRPBPX
13. Caccamo M., Veerkamp R. F., De Jong G., Pool M. H., Petriglieri R., Licitra G. Variance components for test-day milk, fat, and protein yield, and somatic cell score for analyzing management information. Journal of Dairy Science. 2008;91(8):3268-3276. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0805>
14. Macciotta N. P. P., Dimauro C., Rassu S. P. G., Steri R., Pulina G. The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. Italian Journal of Animal Science. 2011;10(4):e51. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>
15. Jakobsen J. H., Madsen P., Jensen J., Pedersen J., Christensen L. G., Sorensen D. A. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. Journal of Dairy Science. 2002;85(6):1607-1616. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74231-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74231-8)

16. Buch L. H., Sørsensen A. C., Lassen J., Berg P., Christensen L. G., Sørsensen M. K. Factors affecting the exchange of genetic material between Nordic and US Holstein populations. *Journal of Dairy science*. 2009;92(8):4023-4034. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1541>
17. Bowden V. Type classification in dairy cattle: a review. *Animal Breeding Abstracts*. 1982;50(3):147-163.
18. Власова Г. С., Абрамова Н. И., Богорадова Л. Н., Хромова О. Л., Федорова Е. А. Тенденции развития молочного скотоводства Вологодской области и Северо-Западного региона. *Молочнохозяйственный вестник*. 2016;(1(21)):14-19. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25768225> EDN: VRXATT
19. Зиновьева Н. А., Позябин С. В., Чинаров Р. Ю. Вспомогательные репродуктивные технологии: История становления и роль в развитии генетических технологий в скотоводстве (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2020;55(2):225-242. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2020.2.225rus> EDN: ZMUEJF
20. Rexroad C., Vallet J., Matukumalli L. K., Reecu J., Bickhart D., Blackburn H., Boggess M., Cheng H., Clutter A., Cockett N., Ernst C., Fulton J. E., Liu J., Lunney J., Neiberghs H., Purcell C., Smith T. P. L., Sonstegard T., Taylor J., Telugu B., Van Eenennaam A., Van Tassell C. P., Wells K. Genome to phenome: improving animal health, production, and well-being – a new USDA blueprint for animal genome research 2018-2027. *Frontiers in Genetics*. 2019;10:327. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00327>

References

1. Maklakhov A. V., Tyapugin E. A., Abramova N. I., Vlasova G. S., Burgomistrova O. N., Khromova O. L., Bogoradova L. N., Zenkova N. V. Breeding process management system in dairy cattle populations in the North-West zone of the Russian Federation: recommendations. *Vologda-Molochnoe: Vologodskaya GMKhA*, 2017. 52 s.
2. Labinov V. V., Trifanov A. V. About domestic pedigree dairy farming. *Zootekhnika*. 2017;(4):25-27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28874737>
3. Tulinova O. V., Petrova A. V., Solovey G. P. Use of ayrshire breeders of various origin. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2015;(5):30-34. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23894273>
4. Kuznetsov V. M. Modern methods of analysis and planning of breeding in the dairy herd. Kirov: *Zonal'nyy NIISKh Severo-Vostoka*, 2001. 116 c. URL: https://vm-kuznetsov.ru/files/book/book_2.pdf
5. Labinov V. V., Prokhorenko P. N. Upgrading black-and-white cattle breed in russia on the basis of holstein gene pool. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2015;(1): 2-7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23005735>
6. Stolpovskiy Yu. A., Zakharov-Gezekhus I. A. The problem of conservation of gene pools of domesticated animals. *Vavilovskiy zhurnal genetiki i seleksii* = *Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2017;21(4):477-486. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18699/VJ17.266>
7. Tulinova O. V., Zhyvoglazova E. V., Anistenok S. V. Dependence of the reproductive performance on the level of inbreeding in Ayrshire first calving cows. *Reproduction in domestic animals*. 2018;53(2):202.
8. Mymrin S. V. Development of breeding livestock production of the Russian Federation the role of the regional informational and selection center in the system of breeding work. *Agrarnyy vestnik Urala* = *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2017;(2(156)):38-40. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29027537>
9. Eskin G. V., Plemiyashov K. V., Turbina I. S., Anistenok S. V. Monitoring national gene pool of ayrshire bulls. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2015;(5):5-8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23894264>
10. Abramova M. V., Ilina A. V., Konovalov A. V., Zyryanova S. V. Monitoring of breeding and genetic characteristics of productive traits of dairy cattle. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo* = *Journal of Dairy and Beef Cattle Farming*. 2021;(8):19-23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33943/MMS.2021.46.39.005>
11. Tyapugin E. A., Tyapugin S. E., Abramova N. I., Bogoradova L. N., Vlasova G. S. Method of creation of new type "prilutsky" ayrshire breed. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = *Achievements of Science and Technology of AICis*. 2011;(1):64-65. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16333627>
12. Titova S. V., Zabayakin 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>
13. Caccamo M., Veerkamp R. F., De Jong G., Pool M. H., Petriglieri R., Licitra G. Variance components for test-day milk, fat, and protein yield, and somatic cell score for analyzing management information. *Journal of Dairy Science*. 2008;91(8):3268-3276. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0805>
14. Macciotta N. P. P., Dimauro C., Rasso S. P. G., Steri R., Pulina G. The mathematical description of lactation curves in dairy cattle. *Italian Journal of Animal Science*. 2011;10(4):e51. DOI: <https://doi.org/10.4081/ijas.2011.e51>
15. Jakobsen J. H., Madsen P., Jensen J., Pedersen J., Christensen L. G., Sørsensen D. A. Genetic parameters for milk production and persistency for Danish Holsteins estimated in random regression models using REML. *Journal of Dairy Science*. 2002;85(6):1607-1616. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(02\)74231-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(02)74231-8)
16. Buch L. H., Sørsensen A. C., Lassen J., Berg P., Christensen L. G., Sørsensen M. K. Factors affecting the exchange of genetic material between Nordic and US Holstein populations. *Journal of Dairy science*. 2009;92(8):4023-4034. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2008-1541>

17. Bowden V. Type classification in dairy cattle: a review. *Animal Breeding Abstracts*. 1982;50(3):147-163.

18. Vlasova G. S., Abramova N. I., Bogoradova L. N., Khromova O. L., Fedorova E. A. Tendencies of dairy cattle breeding development in vologda region and north-west federal district. *Molochnokhozyaystvennyy vestnik*. 2016;(1(21)):14-19. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25768225>

19. Zinovieva N. A., Pozyabin S. V., Chinarov R. Yu. Assisted reproductive technologies: the history and role in the development of genetic technologies in cattle (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2020;55(2):225-242. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2020.2.225rus>

20. Rexroad C., Vallet J., Matukumalli L. K., Reedy J., Bickhart D., Blackburn H., Boggess M., Cheng H., Clutter A., Cockett N., Ernst C., Fulton J. E., Liu J., Lunney J., Neibergs H., Purcell C., Smith T. P. L., Sonstegard T., Taylor J., Telugu B., Van Eenennaam A., Van Tassell C. P., Wells K. Genome to phenome: improving animal health, production, and well-being – a new USDA blueprint for animal genome research 2018-2027. *Frontiers in Genetics*. 2019;10:327. DOI: <https://doi.org/10.3389/fgene.2019.00327>

Сведения об авторах

✉ **Абрамова Наталья Ивановна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, отдел разведения сельскохозяйственных животных, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства имени А. С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Ленина, д. 14, с. Молочное, г. Вологда, Российская Федерация, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5315-7656>, e-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Хромова Ольга Леонидовна, старший научный сотрудник, отдел разведения сельскохозяйственных животных, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства имени А. С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Ленина, д.14, с. Молочное, г. Вологда, Российская Федерация, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8101-6316>

Зенкова Наталья Валериевна, научный сотрудник, отдел разведения сельскохозяйственных животных, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства имени А. С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Ленина, д. 14, с. Молочное, г. Вологда, Российская Федерация, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7844-9586>

Селимян Максим Олегович, научный сотрудник, отдел разведения сельскохозяйственных животных, Северо-Западный научно-исследовательский институт молочного и лугопастбищного хозяйства имени А. С. Емельянова – обособленное подразделение ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Ленина, д. 14, с. Молочное, г. Вологда, Российская Федерация, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6681-7879>

Information about the authors

✉ **Natalya I. Abramova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Breeding Farm Animals, A. S. Emelyanova Northwestern Dairy and Grassland Farming Research Institute – Detached Unit of Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Lenin St., 14, Molochnoye village, Vologda, Russian Federation, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5315-7656>, e-mail: natali.abramova.53@mail.ru

Olga L. Khromova, senior researcher, the Department of Breeding Farm Animals, A. S. Emelyanova Northwestern Dairy and Grassland Farming Research Institute – Detached Unit of Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Lenin St., 14, Molochnoye village, Vologda, Russian Federation, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8101-6316>

Natalya V. Zenkova, researcher, Department of Breeding Farm Animals, A. S. Emelyanova Northwestern Dairy and Grassland Farming Research Institute – Detached Unit of Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Lenin St., 14, Molochnoye village, Vologda, Russian Federation, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7844-9586>

Maksim O. Selimyan, researcher, Department of Breeding Farm Animals, A. S. Emelyanova Northwestern Dairy and Grassland Farming Research Institute – Detached Unit of Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Lenin St., 14, Molochnoye village, Vologda, Russian Federation, 160555, e-mail: sznii@list.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6681-7879>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Оценка биологической полноценности кормов по контрольным тестам молока и ее использование при организации кормления молочного скота

© 2023. Н. С. Баранова✉, Т. Н. Кирикова, А. С. Давыдова, Д. С. Казаков
ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия»,
п. Караваево, Российская Федерация

В статье представлены результаты оценки биологической полноценности кормов по контрольным тестам молока. Научные исследования проведены в ООО «Минское» Костромского района Костромской области на поголовье 369 коров костромской и черно-пестрой пород по сезонам года. Авторами выявлено, что по уровню усвояемого протеина у лактирующих коров наблюдается дисбаланс практически во все сезоны года, поэтому большинство животных подвержены заболеваниям, связанным с нарушением обмена веществ. Уровень кислотности рубца у животных костромской породы был стабильнее (рН = 6,2-6,4) во все сезоны года, что указывает на меньшую вероятность развития ацидоза в отличие от коров черно-пестрой породы. На основании показателей контрольных тестов молока установлено недостаточное обеспечение сырым протеином коров костромской и черно-пестрой пород в период раздоя. Самые высокие суточные удои (более 30 кг молока) получены у коров в первый и второй периоды лактации во все сезоны года. У животных с уровнем обеспеченности усвояемым протеином 10,3-10,9 г/МДж наблюдается нормативное соотношение жир:белок (1,26:1) при уровне рентабельности производства молока 66,11 %, у животных с недостаточным уровнем обеспеченности усвояемым протеином 10,2 г/МДж и менее уровень рентабельности производства составил 73,93 и 86,44 % соответственно. При уровне обеспеченности усвояемым протеином более 11,0 г/МДж у животных повышается вероятность возникновения ацидоза. Оценка биологической полноценности кормов по контрольным тестам молока в период контрольных доек позволит осуществлять контроль энерго-протеинового питания животных.

Ключевые слова: питательность кормов, коровы, костромская порода, черно-пестрая порода, жир молока, белок молока, лактация, минерально-витаминный комплекс, сухое вещество, раздой, энергетическое питание, протеин, азотный баланс рубца

Благодарности: работа выполнена по гранту ФГБОУ ВО Костромской ГСХА (тема «Оценка биологической полноценности кормов и ее использование при организации кормления молочного скота»).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Баранова Н. С., Кирикова Т. Н., Давыдова А. С., Казаков Д. С. Оценка биологической полноценности кормов и ее использование при организации кормления молочного скота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):459-467. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.459-467>

Поступила: 18.01.2023 Принята к публикации: 15.05.2023 Опубликовано онлайн: 28.06.2023

Assessment of the biological value of forages according to the control tests of milk and its use in the organization of feeding of dairy cattle

© 2023. Nadezhda S. Baranova✉, Tatyana N. Kirikova, Anastasiya S. Davydova,
Dmitry S. Kazakov

Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevo, Russian Federation

The article presents the results of the assessment of the biological usefulness of feed according to the control tests of milk. Scientific research was carried out in LLC "Minskoye" of the Kostroma district of the Kostroma region on a population of 369 cows of the Kostroma and Black-and-White breeds according to the seasons of the year. The authors found that in terms of the level of digestible protein in lactating cows, there is an imbalance in almost all seasons of the year, so most animals are prone to diseases associated with metabolic disorders. The level of rumen acidity in animals of the Kostroma breed was more stable (pH = 6.2-6.4) in all seasons of the year, which indicates a lower likelihood of developing acidosis, in contrast to Black-and-White breed cows. Based on the indicators of milk control tests, insufficient supply of raw protein to cows of the Kostroma and Black-and-White breeds during the milking period was established. The highest daily milk yields (more than 30 kg of milk) were obtained from cows in the first and second periods of lactation in all seasons of the year. In animals with a level of availability of digestible protein of 10.3-10.9 g/MJ, there is a normal ratio of fat: protein (1.26:1), with a profitability level of 66.11%, while animals with an insufficient level availability of digestible protein of 10.2 g/MJ and less, had the level of profitability of milk production 73.93 and 86.44%, respectively. When the level of availability of digestible protein is more than 11.0 g/MJ in animals, the likelihood of acidosis increases. Evaluation of the biological value of feeds according to control tests of milk during the period of control milkings will allow monitoring the energy and protein nutrition of animals.

Keywords: nutritional value of feed, cows, Kostroma breed, Black-and-White breed, milk fat, milk protein, lactation, mineral and vitamin complex, dry matter, increasing the milk yield, energy nutrition, protein, rumen nitrogen balance

Acknowledgments: the work was supported by a grant from the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education of the Kostroma State Agricultural Academy (topic «Assessment of the biological usefulness of feed and its use in the organization of feeding dairy cattle»).

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

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

For citation: Baranova N. S., Kirikova T. N., Davydova A. S., Kazakov D. S. Assessment of the biological value of forages according to the control tests of milk and its use in the organization of feeding of dairy cattle. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka*=Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):459-467. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.459-467>

Received: 18.01.2023

Accepted for publication: 15.05.2023

Published online: 28.06.2023

В молочном скотоводстве много факторов влияет на производственный результат. Здесь нет неважных или второстепенных задач, но одним из главных является здоровье стада. Обмен веществ в организме коровы – один из таких ключевых моментов в организации кормления, где баланс между питательными элементами часто становится критическим, особенно, если необходимо достичь генетически потенциально возможных надоев от современных животных. Понимание сложных обменных процессов, протекающих в организме животных позволит довести уровень молочной продуктивности до высоких показателей, а также правильно воспользоваться преимуществами кормовых ингредиентов нового поколения [1, 2].

Высокие надои означают лишь то, что кормление должно осуществляться на основании точного расчета рациона, безупречного кормового менеджмента, а также контроля и анализа важнейших данных продуктивности. Содержание жира и белка в молоке, мочевины в молоке, количество надоев молока – данные, которые можно и нужно использовать для оценки кормления животных и выявления ошибок менеджмента¹.

Каждое молочное предприятие имеет в своем распоряжении эти показатели – это результаты контрольных доек, на которые, к сожалению, обращают мало внимания, и этот материал остается неиспользованным [3, 4, 5]. Данные о качестве и количестве молока дают возможность вовремя распознать и устранить нарушения в питании животных. Регулярный анализ жира и белка в молоке является ценной диагностической помощью при контроле над здоровьем и кормлением животных и должен активно использоваться каждым молочным предприятием [6, 7].

Цель исследования – определение биологической полноценности кормовых рационов для крупного рогатого скота по контрольным тестам молока.

Научная новизна – впервые в условиях Костромской области проведена оценка биологической полноценности кормов по контрольным тестам молока, с последующим внедрением в производство при организации полноценного кормления крупного рогатого скота.

Материал и методы. Исследования проведены в условиях ООО «Минское» Костромского района Костромской области на поголовье 369 коров костромской (169 гол.) и черно-пестрой (200 гол.) пород в период с июня по октябрь 2021 года с привязным содержанием. При организации кормления крупного рогатого скота из кормов собственного производства были использованы сено, силос, зеленая масса, зерносмесь. Соотношение объемистых кормов к концентратам составляло на уровне 60/40 соответственно.

Специалисты хозяйства сено и силос заготавливают из луговых травостоев – посева многолетних, однолетних бобовых и злаковых трав как в чистом виде, так и в смеси из травостоев естественных кормовых угодий. Для приготовления силоса используют 30 % кукурузы, клевер в чистом виде и в смеси с разнотравьем естественных угодий, также применяют викоовсяные и горохоовсяные смеси.

Для установления энергетического и белкового статуса кормовых рационов, на основании данных контрольных доек, были использованы тесты молока (жир, молочный белок, мочевина). Контрольные дойки проводили по декадам в период с июня 2020 по октябрь 2021 года.

Качественный состав молока (содержание жира, белка и мочевины) определяли на приборе Bentley dairy spec FT (США). Обеспеченность коров усвояемым протеином проводили по показателю молочного белка, отнесенному к энергии (г/МДж), для этого были

¹Лопатко А. М., Субботин А. М., Сучкова И. В., Соболев Д. Т. Будь здорова, кормилица – корова: научно-практическое пособие. Орел: Новое время, 2017. 413 с.

выполнены следующие расчеты:

1) содержания энергии в 1 кг натурального молока (ЕСМ) определяли по формуле:

$$ЕСМ = 0,95 + (0,21 \% \text{ белка}) + (0,38 \% \text{ жира});$$

2) количество белка молока (г), приходящегося на 1 МДж молока;

3) коэффициент полноценности белка рациона рассчитывали по формуле:

$$КПБ = \frac{\text{содержание белка в 1 кг молока (г)}}{ЕСМ \text{ (МДж)}}.$$

Энергетический и белковый статусы рационов определяли по показателям белка и мочевины в молоке (табл. 1).

Таблица 1 – Энергетический и белковый статусы рационов коров / Table 1 – Energy and protein status of diets of cows

| <i>Белок, % / Protein, %</i> | <i>Мочевина, мл/% / Urea, ml/%</i> | <i>Статус рациона / Diet status</i> |
|--|------------------------------------|--|
| <i>< 3,2 – низкий / < 3,2 – low</i> | <i><150</i> | <i>Недостаток энергии и сырого протеина / Lack of energy and crude protein</i> |
| | <i>150-300</i> | <i>Недостаток энергии / Lack of energy</i> |
| | <i>>300</i> | <i>Недостаток энергии и избыток протеина / Lack of energy and excess protein</i> |
| <i>3,3-3,6 – средний / 3,3-3,6 – average</i> | <i><150</i> | <i>Дефицит сырого протеина / Crude protein deficiency</i> |
| | <i>150-300</i> | <i>Норма / Norm</i> |
| | <i>>300</i> | <i>Избыток сырого протеина / Excess crude protein</i> |
| <i>>3,6 – высокий / >3,6 – high</i> | <i><150</i> | <i>Избыток энергии и дефицит сырого протеина / Excess energy and deficiency of crude protein</i> |
| | <i>150-300</i> | <i>Избыток энергии / Excess energy</i> |
| | <i>>300</i> | <i>Избыток энергии и сырого протеина / Excess of energy and crude protein</i> |

Степень развития ацидоза у коров определяли по формуле:

$$pH = 4,44 + (0,46 \cdot \text{МДЖ}, \%).$$

При значении pH 6,2-6,8 – животное здоровое, при pH менее 6,2 – начало развития ацидоза. Начало развития ацидоза и кетоза у дойных коров определяли по соотношению процента жира к проценту белка в молоке: 1,00-1,25 – ацидоз; 1,26-1,35 – норма; 1,36-1,50 – кетоз.

Экономическую эффективность исследований находили по общепринятой методике^{1,2}.

Валовой надой молока с базисным значением жира 3,4 % и белка 3,0 % рассчитывали по формуле:

$$ВН = \frac{\text{МДЖ} \times 0,4 + \text{МДБ} \times 0,6}{3,16} \times \text{М молока, (кг)},$$

где ВН – валовой надой молока;
МДЖ – фактический процент жира в молоке;
МДБ – фактический процент белка в молоке;
0,4 – коэффициент ценности жира; 0,6 – коэффициент ценности белка; 3,16 – коэффициент,

рассчитанный, исходя из ценности жира и белка в молоке по формуле:

$$3,4 \times 0,4 + 3,0 \times 0,6, \text{ где}$$

3,4 – общероссийская базисная норма массовой доли жира в молоке (МДЖ);

3,0 – общероссийская базисная норма массовой доли белка в молоке (МДБ).

Статистическую обработку данных проводили с применением программы Excel и определением критерия достоверности разности при трех уровнях безошибочного прогноза ($P < 0,05$; $P < 0,01$ и $P < 0,001$) по Стьюденту.

Результаты и их обсуждение. Изучен уровень усвояемого протеина по соотношению жира и белка в молоке у лактирующих коров. Показатели жира и белка в молоке должны быть в определенном соотношении друг к другу. Соотношение от 1,1:1 до 1,5:1 свидетельствует о сбалансированном кормлении. Соотношение жира к белку более 1,5, особенно в начале лактации (кроме молозивного периода) – это предупредительный сигнал. Высокое содержание

²Плохинский Н. А. Руководство по биометрии для зоотехников. М.: Колос, 1969. 255 с.

³Меркурьева Е. К. Биометрия в селекции и генетике сельскохозяйственных животных. М.: Колос, 1970. 423 с.

жира в молоке – признак очень сильной мобилизации жира из организма. Низкое содержание белка свидетельствует о недостатке энергии, хотя часть энергии и поступает из резервов организма. Следствием этого могут быть нарушения обмена веществ (кетоз). Если соотношение жира к белку составляет более 1,5 на протяжении всего периода лактации, это говорит о богатом структурой, но бедном энергией кормлении, особенно при плохом качестве объемистых кормов и недостатке концентратов.

Следствие этого – низкая молочная продуктивность и низкое содержание белка в молоке.

Очень низкое соотношение жира к белку (ниже 1,1) возникает при рационе, богатом энергией и бедной его структуре (много концентратов) – комбикорм скармливать животным необходимо в соответствии с их продуктивностью. При трактовке соотношения жира к белку в первую треть лактации нужно учитывать, что возможна как угроза кетоза (при высоком показателе), так и ацидоза рубца (при низком показателе) (табл. 2).

*Таблица 2 – Уровень обеспеченности коров усвояемым протеином по сезонам года (n = 369) /
Table 2 – The level of supply of cows with digestible protein by the seasons of the year (n = 369)*

| <i>Уровень обеспеченности / Level of supply</i> | <i>Суточный удой, кг / Daily milk yield, kg</i> | <i>МДЖ, % / MJ, %</i> | <i>МДБ, % / MDB, %</i> | <i>Мочевина, мг/л / Urea, mg/l</i> | <i>Соотношение жир/белок / Fat/Protein ratio</i> |
|---|---|-----------------------|------------------------|------------------------------------|--|
| Весна / Spring | | | | | |
| Нехватка / Shortage | 28,9±2,76 | 4,89±0,45 | 3,16±0,33 | 250±24,29 | 1,54 |
| Недостаточное / Insufficient | 27,4±8,40 | 4,36±0,73 | 3,33±0,30 | 240±4,53 | 1,30 |
| Соответствие / Conformity | 25,8±3,10 | 4,24±1,65 | 3,46±0,40 | 240±25,15 | 1,22 |
| Завышенное / Excessive | 21,1±1,82 | 3,81±0,34 | 3,57±0,24 | 220±1,22 | 1,06 |
| Лето / Summer | | | | | |
| Нехватка / Shortage | 32,33±3,14 | 4,69±0,41 | 3,02±0,28 | 210±19,50 | 1,55 |
| Недостаточное / Insufficient | 28,1±1,22 | 4,47±0,78 | 3,37±0,42 | 200±4,44 | 1,32 |
| Соответствие / Conformity | 28,7±8,85 | 4,15±0,51 | 3,43±0,49 | 190±63,48 | 1,20 |
| Завышенное / Excessive | 27,2±1,06 | 3,9±0,17 | 3,8±0,29 | 150±0,47 | 1,02 |
| Осень / Autumn | | | | | |
| Нехватка / Shortage | 33,6±3,30 | 4,36±3,98 | 3,00±0,28 | 180±17,65 | 1,45 |
| Недостаточное / Insufficient | 32,1±8,30 | 4,17±0,76 | 3,22±0,39 | 180±3,98 | 1,29 |
| Соответствие / Conformity | 30,20±2,00 | 4,05±0,26 | 3,40±0,74 | 180±17,29 | 1,19 |
| Завышенное / Excessive | 29,40±2,58 | 3,42±0,08 | 3,50±0,22 | 160±1,50 | 0,97 |
| Зима / Winter | | | | | |
| Нехватка / Shortage | 29,5±2,48 | 4,68±0,69 | 3,18±0,41 | 270±22,54 | 1,47 |
| Недостаточное / Insufficient | 32,10±8,54 | 4,11±0,71 | 3,21±0,31 | 230±4,13 | 1,28 |
| Соответствие / Conformity | 28,4±2,87 | 3,93±0,27 | 3,34±0,80 | 230±20,65 | 1,17 |
| Завышенное / Excessive | 27,80±2,33 | 3,41±0,17 | 3,51±0,28 | 220±1,41 | 0,97 |

Из данных таблицы 2 видно, что при недостаточном обеспечении животных белком происходит увеличение суточного удоя, но при этом снижаются содержание жира и белка в молоке. Соотношение жир:белок в молоке

менее 1,1 и служит сигналом на возникновение ацидоза. При сбалансированном рационе кормления животных уровень обеспеченности усвояемым протеином должен быть в диапазоне – 1,26-1,35 [8, 9].

При недостаточном количестве усвояемого протеина 1,0-1,25 появляется риск проявления ацидоза у коров, а избыток 1,36-1,5 может привести к кетозу. Анализ данных таблицы указывает на дисбаланс усвояемого протеина практически во все сезоны года, большинство животных подвержены заболеваниям, связанным с нарушением обмена веществ.

В любом случае, в результате наблюдается типичная картина неблагоприятных изменений в микрофлоре рубца – расцвет популяций амилитических бактерий и угнетение роста целлюлозолитических бактерий, избыточное накопление молочной кислоты и, как следствие, общее снижение рН рубцового

содержимого ниже 6,2. В результате в стаде повышается процент выбраковки и резко падает продуктивное долголетие коров.

По показателю рН менее 6,2 у животных костромской породы наблюдается меньшая вероятность развития ацидоза во все сезоны года (25-35 %) (табл. 3). Это объясняется тем, что животные этой породы наиболее адаптированы к большому потреблению концентрированных кормов, что нельзя сказать о коровах черно-пестрой породы. У них смещение баланса рубца в кислую сторону происходит чаще при потреблении большого количества концентратов, особенно это заметно в осенний и зимний периоды [10, 11].

Таблица 3 – Заболеваемость коров ацидозом в зависимости от рН рубцового содержимого и сезона года в ООО «Минское», % /

Table 3 – Indicators of rumen acidity depending on the season of the year in cows of different breeds in LLC "Minskoye", %

| Сезон года / Season of the year | рН рубцового содержимого / pH of cicatricial contents | | |
|---|---|---------|---------|
| | < 6,2 | 6,2-6,4 | 6,5-7,0 |
| Костромская порода (n = 169) / Kostroma breed (n = 169) | | | |
| Весна / Spring | 25 | 35 | 40 |
| Лето / Summer | 25 | 40 | 35 |
| Осень / Autumn | 30 | 35 | 35 |
| Зима / Winter | 35 | 55 | 10 |
| Черно-пестрая (n = 200) / Black-and-white (n = 200) | | | |
| Весна / Spring | 25 | 35 | 40 |
| Лето / Summer | 20 | 55 | 25 |
| Осень / Autumn | 55 | 25 | 20 |
| Зима / Winter | 45 | 50 | 5 |

Молочная продуктивность коров подвержена значительным изменениям в течение лактации. Под влиянием физиологических, сезонных, кормовых и других факторов в период лактации изменяется химический состав молока коров [12, 13] (табл. 4).

Данные таблицы 4 показывают, что использование показателя «содержание белка на один МДж энергии в молоке» в пределах каждой производственной группы позволяет сделать более точную оценку обеспеченности белком.

Недостаточное обеспечение сырым протеином у коров происходит в разгар лактации (до 100 дней), в этот период наблюдается узкое соотношение жира и белка в молоке.

Количество молока, его качество и пригодность для производства молочной продукции зависят как от особенностей самого жи-

вотного (породной принадлежности, стадии лактации, состояния здоровья), так и от внешних факторов (сезона года) [14, 15] (табл. 5).

По данным таблицы 5 видно, что у коров в первый период лактации во все сезоны года получены самые высокие показатели молочной продуктивности, при этом обеспеченность коров энергией и усвояемым протеином самая низкая наблюдается в весенний и летний периоды. Обеспеченность коров молочным белком весной составила 9,2±2,5 г/МДж, в летний период – 9,15±1,15 г/МДж, в то время как осенью и зимой данный показатель соответствовал норме. Наибольшее несоответствие соотношения жира и белка отмечено в осенний и зимний периоды во все фазы лактации (1,03-1,25). Имеются случаи, когда соотношение достигает показателя 1,36 и более. Данная тенденция наблюдается в период раздоя весной и летом.

Таблица 4 – Оценка баланса азота и энергии в организме коров по компонентам молока в зависимости от периодов лактации (n = 369) /

Table 4 – Evaluation of the balance of nitrogen and energy in the body of cows according to the components of milk, depending on the periods of lactation (n = 369)

| Период лактации, дни / Lactation period, days | Суточный удой, кг / Daily milk yield, kg | Жир, % / Fat, % | Белок, % / Protein, % | Белок/энергия молока, г/МДж / Milk protein/energy, g/MJ | Обеспеченность усвояемым протеином / Supply of digestible protein | Мочевина, мг/л / Urea, mg/l | Баланс азота / Nitrogen balance |
|---|--|-----------------|-----------------------|---|---|-----------------------------|---------------------------------|
| До 100 / Up to 100 | 34,6±5,30 | 3,95±0,53 | 3,02±0,36 | 10,0±1,11 | Недостаточное / Insufficient | 200±2,41 | Равновесный / Aligned |
| 101 до 200 / 101 to 200 | 32±4,80 | 4,02±0,50 | 3,25±0,33 | 10,3±1,08 | Соответствие / Conformity | 220±2,83 | |
| Более 200 / Over 200 | 23,7±2,98 | 4,33±0,36 | 3,61±0,35 | 10,7±1,17 | | 210±1,44 | |

Таблица 5 – Оценка обеспеченности коров энергией и усвояемым протеином в зависимости от периода лактации и сезона года (n = 369) /

Table 5 – Assessment of the supply of cows with energy and digestible protein depending on the lactation period and the season of the year (n = 369)

| Период лактации, дни / Lactation period, days | Суточный удой, кг / Daily milk yield, kg | МДЖ, % / MJ, % | МДБ, % / MDB, % | Мочевина, мг/л / Urea, mg/l | Белок/энергия молока, г/МДж / Protein/milk energy, g/MJ | Соотношение жир/белок / Fat/Protein Ratios |
|---|--|----------------|-----------------|-----------------------------|---|--|
| Весна/ Spring | | | | | | |
| До 100 / Up to 100 | 32,6±8,6 | 4,50±1,2 | 3,01±0,8 | 260±8,30 | 9,2±2,5 | 1,49 |
| 101 до 200 / 101 to 200 | 32,1±4,3 | 4,35±0,4 | 3,17±0,3 | 250±2,9 | 9,9±1,1 | 1,37 |
| Более 200 / Over 200 | 23,3±2,8 | 4,51±0,3 | 3,67±0,3 | 240±2,1 | 10,4±0,9 | 1,22 |
| Лето/ Summer | | | | | | |
| До 100 / Up to 100 | 33,6±5,30 | 4,37±0,53 | 2,94± 0,36 | 200±2,41 | 9,15±1,11 | 1,48 |
| 101 до 200 / 101 to 200 | 31,6±4,80 | 4,36±0,50 | 3,20±0,33 | 210±2,83 | 9,80±1,08 | 1,36 |
| Более 200 / Over 200 | 24,7±2,98 | 4,49±0,36 | 3,58±0,35 | 180±1,44 | 10,59±1,17 | 1,25 |
| Осень/ Autumn | | | | | | |
| До 100 / Up to 100 | 35,9±5,3 | 3,76±0,4 | 3,00±0,3 | 180±2,0 | 10,1±1,0 | 1,25 |
| 101 до 200 / 101 to 200 | 33,1±2,0 | 3,89±0,2 | 3,25±0,4 | 190±1,5 | 10,5±1,7 | 1,19 |
| Более 200 / Over 200 | 24,8±2,0 | 4,29±0,6 | 3,59±0,4 | 170±1,3 | 10,8±1,2 | 1,19 |
| Зима/ Winter | | | | | | |
| До 100 / Up to 100 | 34,5±6,1 | 3,37±0,85 | 3,26±0,67 | 230±5,05 | 10,97±1,85 | 1,03 |
| 101 до 200 / 101 to 200 | 31,3±3,03 | 3,66±0,47 | 3,34±0,33 | 230±3,13 | 11,0±1,0 | 1,09 |
| Более 200 / Over 200 | 21,8±2,32 | 3,86±0,66 | 3,54±0,54 | 220±3,14 | 11,2±1,33 | 1,09 |

Повышение эффективности сельскохозяйственного производства в условиях его последовательной интенсификации невозможно

без объективной экономической оценки различных явлений, имеющих место в сельском хозяйстве (табл. 6).

Таблица 6 – Экономическая эффективность производства молока в зависимости от уровня обеспеченности коров усвояемым протеином / Table 6 – Economical efficiency of milk production depending on the level of supply of cows with digestible protein

| Показатель / Index | Уровень обеспеченности усвояемым протеином / The level of supply with digestible protein | | | |
|--|--|------------------------------|---------------------------|------------------------|
| | нехватка / shortage | недостаточное / insufficient | соответствие / conformity | завышенное / excessive |
| Суточный удой, кг / Daily milk yield, kg | 31,48 | 29,43 | 28,2 | 27,44 |
| Жир, % / Fat, % | 4,65 | 4,3 | 4,09 | 3,52 |
| Белок, % / Protein, % | 3,07 | 3,29 | 3,41 | 3,55 |
| Количество молока базисной жирности в сутки, кг / The amount of basic fat milk per day, kg | 36,88 | 34,40 | 32,86 | 30,72 |
| Затраты на произведенное молоко, руб. / Costs for produced milk, rub. | 576,8 | 576,8 | 576,8 | 576,8 |
| Цена реализации, руб. / Selling price, rub. | 29,16 | 29,16 | 29,16 | 29,16 |
| Денежная выручка, руб. / Cash proceeds, rub. | 1075,40 | 1003,20 | 958,15 | 895,86 |
| Прибыль/убыток, руб. / Profit/loss, rub. | 498,60 | 426,40 | 381,35 | 319,06 |
| Рентабельность, % / Profitability, % | 86,44 | 73,93 | 66,11 | 55,32 |

Из данных таблицы 6 видно, что у коров с уровнем обеспечения усвояемым протеином менее 9,8 г/МДж уровень рентабельности производства молока составил 86,44 %, у животных с уровнем обеспеченности 9,9-10,2 г/МДж – 73,93 %. При завышенном уровне обеспеченности усвояемым протеином более 11,0 г/МДж уровень рентабельности составил 55,32 %.

Таким образом, у животных с уровнем обеспеченности усвояемым протеином 10,3-10,9 г/МДж наблюдается нормальное соотношение жир:белок (1,26:1) при уровне рентабельности 66,11 %, у животных с недостаточным уровнем обеспеченности 10,2 г/МДж и менее уровень рентабельности производства молока составил 73,93 и 86,44 % соответственно. При уровне обеспеченности усвояемым протеином более 11,0 г/МДж у животных повышается вероятность возникновения заболевания ацидозом.

Выводы. 1. При недостаточном количестве усвояемого протеина 1,0-1,25, появляется риск развития ацидоза у коров, а избыток 1,36-1,5 может привести к кетозу. Дисбаланс усвояемого протеина указывает на нарушение обмена веществ.

2. Уровень кислотности рубца у животных костромской породы был стабильнее (рН

= 6,2-6,4) во все сезоны года, что указывает на меньшую вероятность развития ацидоза в отличие от коров черно-пестрой породы. Таким образом, животные костромской породы наиболее адаптированы к большому потреблению концентрированных кормов.

3. На основании показателей контрольных тестов молока было установлено недостаточное обеспечение сырым протеином коров костромской и черно-пестрой пород в период раздоя (до 100 дней лактации), в этот период у животных наблюдалось узкое соотношение жира и белка в молоке – 1:1,3.

4. Самые высокие суточные удои (более 30 кг молока) получены у коров в первый и второй периоды лактации во все сезоны года.

5. При обеспечении коров усвояемым протеином менее 9,8 г/МДж уровень рентабельности производства молока составил 86,44 %, с уровнем обеспеченности 9,9-10,2 г/МДж – 73,93 %, при завышенном уровне обеспеченности более 11,0 г/МДж уровень рентабельности был самым низким – 55,32 %.

На основании проведенных исследований, рекомендуем специалистам зооветеринарного профиля проводить оценку биологической полноценности кормов по контрольным тестам молока в период контрольных доений.

Список литературы

1. Позднякова В. Ф., Гусева Т. Ю., Щеголев П. О., Масленникова А. В. Современные кормовые добавки в животноводстве и их безопасность. Вестник МАНЭБ. 2018;23(3):46-50. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36310031> EDN: YLRCNF
2. Коновалов Е. В., Хамидуллина А. Ш. Взаимосвязь молочной продуктивности с расщепляемостью протеина в рубце. Инновационное развитие АПК Северного Зауралья: сб. мат-лов региональной науч.-практ. конф. Молодых ученых. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2013. С. 311-314. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23260688> EDN: ТРАJAL
3. Великанов В. В., Марусич А. Г., Суденкова Е. Н. Влияние оптимизации кормления лактирующих коров на биохимические показатели крови и состав молока. Животноводство и ветеринарная медицина. 2021;(1(40)):3-9. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44906427> EDN: DKKRID
4. Гамко Л. Н., Менякина А. Г., Подольников В. Е. Стратегия кормления лактирующих коров в период раздоя в условиях сельскохозяйственных предприятий. Вестник Брянской государственной сельскохозяйственной академии. 2021;(3(85)):21-26. DOI: <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-85-3-21-26> EDN: КУХОСУ
5. Кононенко С., Душкин Е., Потехин С., Кондратьева Л. Переваримость кормов в рубце можно управлять. Животноводство России. 2014;(S1):47-49. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22531656> EDN: SZBONN
6. Баранов А. В., Парамонова Н. Ю., Баранова Н. С., Гусева Т. Ю., Королев А. А., Казаков Д. С. Костромская порода крупного рогатого скота в новом столетии: состояние и перспективы (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2019;20(6):533-547. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.533-547> EDN: YICFTZ
7. Костомахин Н. М. Нарушение обмена веществ у дойных коров как показатель менеджмента фермы. Главный зоотехник. 2013;(6):52-56.
8. Костомахин Н. М. Научные основы содержания и кормления коров с различным уровнем продуктивности. Главный зоотехник. 2012;(6):27-30.
9. Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Kahikalo V. G., Ovchinnikova L. Yu., Yarmots L. P., Karmatskikh Yu. A., Charykov V. I. Microbiological supplements for the metabolic rate correction in calves. International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies. 2020;11(2):11A02S. DOI: <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.39>
10. Фирсов В. И., Кузьмина Л. Н., Кузьмин С. С. Доступность белка кормов для переваривания в кишечнике высокопродуктивных голштин-холмогорских коров. Научные основы повышения продуктивности сельскохозяйственных животных: мат-лы междунаро. научн.-практ. конф. Краснодар, 2012. Ч. 2. С. 141-143. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2018-11-36-40>
11. David P., Casper D., Harouna A., Maiga T., Michael J., Brouk T., David J., Schingoeth N. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. Journal of Dairy Science. 1999;82(8):1779-1790. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75408-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75408-1)
12. Харитонов Е. Л., Березин А. С., Лысова Е. А. Влияние синхронизации распада в рубце углеводов и азотистых компонентов корма на состояние метаболизма и продуктивность у лактирующих коров. Проблемы биологии продуктивных животных. 2021;(3):82-91. DOI: <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2021.3.82-91> EDN: KNZTKG
13. National Research Council (NRC). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Washington DC: National Academy Press; 2001. 408 p.
14. Casper D. P., Schingoeth D. J., Brouk M. J., Maiga H. A. Nonstructural carbohydrate and undegradable protein sources in the diet: growth responses of dairy heifers. Journal of Dairy Science. 1994;77(9):2595-2604. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77200-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77200-3)
15. Филинская О. В., Кеворкян С. А. Практические методы контроля полноценности кормления высокопродуктивных коров в условиях современного комплекса. Вестник АПК Верхневолжья. 2018;(4(44)):30-36. Режим работы: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36813748> EDN: YUMJRB

References

1. Pozdnyakova V. F., Guseva T. Yu., Shchegolev P. O., Maslennikova A. V. Modern feed additives in animal husbandry. *Vestnik MANEB*. 2018;23(3):46-50. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=36310031>
2. Konovalov E. V., Khamidullina A. Sh. The relationship of milk productivity with protein cleavage in the rumen. Innovative development of the agro-industrial complex of the Northern Trans-Urals: collection of materials of the regional scientific and practical conference of young scientists. Tyumen': *GAU Severnogo Zaural'ya*, 2013. pp. 311-314. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=23260688>
3. Velikanov V. V., Marusich A. G., Sudenkova E. N. The effect of optimizing the feeding of lactating cows on the biochemical parameters of blood and milk composition. *Zhivotnovodstvo i veterinarnaya meditsina = Animal Agriculture and Veterinary Medicine*. 2021;(1(40)):3-9. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44906427>
4. Gamko L. N., Menyakina A. G., Podol'nikov V. E. Feeding strategy for lactating cows when first milking in the conditions of agricultural enterprises. *Vestnik Bryanskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy*. 2021;(3(85)):21-26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52691/2500-2651-2021-85-3-21-26>
5. Kononenko S., Dushkin E., Potekhin S., Kondrat'eva L. The digestibility of feed in the rumen can be controlled. *Zhivotnovodstvo Rossii*. 2014;(S1):47-49. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=22531656>
6. Baranov A. V., Paramonova N. Yu., Baranova N. S., Guseva N. Yu., Korolev A. A., Kazakov D. S. Kostroma cattle breed in the new century: the state and the prospects (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2019;20(6):533-547. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2019.20.6.533-547>

7. Kostomakhin N. Violation of metabolism at dairy cows as an indicator of the management of the farm. *Glavnyy zootekhnik* = Head of Animal Breeding. 2013;(6):52-56. (In Russ.).
8. Kostomakhin N. Scientific foundations of keeping and feeding cows with different levels of productivity. *Glavnyy zootekhnik* = Head of Animal Breeding. 2012;(6):27-30. (In Russ.).
9. Mikolaychik I. N., Morozova L. A., Kahikalo V. G., Ovchinnikova L. Yu., Yarmots L. P., Karmatskikh Yu. A., Charykov V. I. Microbiological supplements for the metabolic rate correction in calves. *International Transaction Journal of Engineering, Management and Applied Sciences and Technologies*. 2020;11(2):11A02S.
DOI: <https://doi.org/10.14456/ITJEMAST.2020.39>
10. Firsov V. I., Kuzmina L. N., Kuzmin S. S. Availability of feed protein for digestion in the intestines of highly productive Holstein-Kholmogorsky cows. Scientific foundations of increasing the productivity of farm animals: Proceedings of the International scientific.- practical conf. Krasnodar, 2012. Ч. 2. С. 141-143. DOI: <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2018-11-36-40>
11. David P., Casper D., Harouna A., Maiga T., Michael J., Brouk T., David J., Schingoethet N. Synchronization of carbohydrate and protein sources on fermentation and passage rates in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. 1999;82(8):1779-1790. DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(99\)75408-1](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(99)75408-1)
12. Kharitonov E. L., Berezin A. S., Lysova E. A. Effects of synchronized carbohydrates and nitrogen feed components decay in rumen on the state of metabolism and productivity in dairy cows. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh* = Problems of Productive Animal Biology. 2021;(3):82-91. (In Russ.).
DOI: <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.3.82-91>
13. National Research Council (NRC). Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Washington DC: National Academy Press; 2001. 408 p.
14. Casper D. P., Schingoethe D. J., Brouk M. J., Maiga H. A. Nonstructural carbohydrate and undegradable protein sources in the diet: growth responses of dairy heifers. *Journal of Dairy Science*. 1994;77(9):2595-2604.
DOI: [https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(94\)77200-3](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(94)77200-3)
15. Filinskaya O. V., Kevorkyan S. A. Practical methods of controlling the usefulness of feeding highly productive cows in the modern complex. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = Bulletin of the AIC of the Upper Volga. 2018;(4(44)):30-36. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=36813748>

Сведения об авторах

✉ **Баранова Надежда Сергеевна**, доктор с.-х. наук, профессор, заведующая кафедрой частной зоотехнии, разведения и генетики, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Караваяевская с/а, д. 34, п. Караваяево, Учебный городок, Костромской р-н, Костромская обл., Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-848X>, e-mail: baranova-ns2@yandex.ru

Кирикова Татьяна Николаевна, кандидат с.-х. наук, доцент, доцент кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Караваяевская с/а, д. 34, п. Караваяево, Учебный городок, Костромской р-н, Костромская обл., Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-2158>

Давыдова Анастасия Сергеевна, старший преподаватель кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Караваяевская с/а, д. 34, п. Караваяево, Учебный городок, Костромской р-н, Костромская обл., Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8198-0685>

Казakov Дмитрий Сергеевич, старший преподаватель кафедры частной зоотехнии, разведения и генетики, ФГБОУ ВО «Костромская государственная сельскохозяйственная академия», Караваяевская с/а, д. 34, п. Караваяево, Учебный городок, Костромской р-н, Костромская обл., Российская Федерация, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6050-5690>

Information about authors

✉ **Nadezhda S. Baranova**, DSc in Agricultural Science, Professor, Head of the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevskaya St./a, 34, Karavaevo Settlement, Educational Campus, Kostroma District, Kostroma Region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5123-848X>, e-mail: baranova-ns2@yandex.ru

Tatyana N. Kirikova, PhD in Agricultural Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevskaya St./a, 34, Karavaevo Settlement, Educational Campus, Kostroma District, Kostroma Region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7374-2158>

Anastasiya S. Davydova, senior lecturer, the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevskaya St./a, 34, Karavaevo Settlement, Educational Campus, Kostroma District, Kostroma Region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8198-0685>

Dmitry S. Kazakov, senior lecturer, the Department of Private Animal Science, Breeding and Genetics, Kostroma State Agricultural Academy, Karavaevskaya St./a, 34, Karavaevo Settlement, Educational Campus, Kostroma District, Kostroma Region, Russian Federation, 156530, e-mail: van@ksaa.edu.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6050-5690>

✉ – Для контактов / Corresponding author

Эффективность использования пробиотика «Румит» в рационе дойных коров айрширской породы

© 2023. Ю. М. Смирнова ✉, А. В. Платонов, В. А. Котелевская
ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», г. Вологда, Российская Федерация

Изучено влияние использования в кормлении коров айрширской породы ферментативно-пробиотического препарата «Румит». В задачи исследования входил анализ биохимических показателей крови новотельных коров, исследование действия кормовой добавки на активность рубцовой микрофлоры и уровень молочной продуктивности, а также расчёт экономической эффективности изучаемого пробиотика. Для реализации поставленных задач был проведен эксперимент в период с марта по июль 2021 года на базе ООО «Заря» Чагодощенского района Вологодской области. В опыте сформировано две группы коров айрширской породы по 15 голов в каждой в начале лактации, подобранных методом сбалансированных групп. Коровы контрольной группы получали хозяйственный рацион, а животным опытной группы в дневное кормление дополнительно давали по 50 г на голову в сутки пробиотика «Румит». Длительность опыта составила 90 дней. Применение пробиотика у коров опытной группы способствовало увеличению активности рубцовой микрофлоры на 28 % ($P \leq 0,05$). При анализе биохимических показателей крови подопытных животных, по сравнению с контрольной группой, отмечалось повышение общего белка на 14,3 % ($P \leq 0,05$), снижение содержания мочевины на 19 % ($P \leq 0,05$) и билирубина на 21,3 % ($P \leq 0,05$). Отмечено повышение уровня молочной продуктивности коров опытной группы на 6,7 % и, как следствие, сокращение затрат энергетических кормовых единиц на производство продукции на 5,2 %. Дополнительная прибыль от реализации молока в опытной группе составила 37,32 рубля на голову в сутки.

Ключевые слова: кровь, рубцовая микрофлора, молочная продуктивность, экономическая эффективность

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Вологодский научный центр РАН» (тема № FMGZ-2022-0010).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Смирнова Ю. М., Платонов А. В., Котелевская В. А. Эффективность использования пробиотика «Румит» в рационе дойных коров айрширской породы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):468-477. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.468-477>

Поступила: 04.04.2023

Принята к публикации: 19.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Effectiveness of probiotic Rumit in the dairy Ayrshire cattle diet

© 2023. Yulia M. Smirnova ✉, Andrey V. Platonov, Valeria A. Kotelevskaya
Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russian Federation

The effect of using enzymatic and probiotic preparation “Rumit” in feeding the Ayrshire cattle has been studied. The objectives included the analysis of biochemical blood parameters of newborn cows, research of the feed additive action on the activity of rumen microflora and milk productivity level, as well as calculation of economic efficiency of the probiotic. To implement the objectives the experiment was carried out in the period from March to July 2021 on the basis of ООО “Zarya” of Chagodoshchensky district of the Vologda Oblast. During the experiment there were formed two groups of the Ayrshire cattle of 15 cows each at the beginning of lactation, selected by the method of balanced groups. Cows of the control group received the farm diet, and the experimental group was given an additional 50 g per head per day of probiotic “Rumit” in the daily feeding. The duration of the experiment was 90 days. Use of the probiotic in the experimental group contributed to the increase of rumen microflora activity by 28 % ($P \leq 0.05$). In the analysis of biochemical blood parameters of the experimental animals, compared with the control group, there was an increase in total protein by 14.3 % ($P \leq 0.05$), urea decreased by 19 % ($P \leq 0.05$) and bilirubin fell by 21.3 % ($P \leq 0.05$). There was an increase in cows’ milk productivity in the experimental group by 6.7 % and, as a consequence, a 5.2 % reduction in the cost of energy feed units for production. Additional profit from selling milk in the experimental group was 37.32 rubles per head per day.

Keywords: blood, rumen microflora, milk productivity, economic efficiency

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

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

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

For citation: Smirnova Yu. M., Platonov A. V., Kotelevskaya V. A. Effectiveness of probiotic Rumit in the dairy Ayrshire cattle diet. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):468-477. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.468-477>

Received: 04.04.2023

Accepted for publication: 19.05.2023

Published online: 28.06.2023

Современное промышленное животноводство, особенно молочное скотоводство, включает, как правило, жесткие режимы производственных процессов, обуславливающих повышенную нагрузку на функциональную деятельность систем организма животных, что в свою очередь значительно обостряет проблему полноценного кормления, содержания животных и получения продукции высокого качества [1]. Особенно сложно оптимизировать содержание питательных веществ в сухом веществе и обеспечить сбалансированность рациона кормления у высокопродуктивных животных [2].

При несоблюдении технологии кормления и содержания животных, несбалансированных и неполноценных рационах, производственных стрессах, высокой концентрации поголовья нарушаются все обменные процессы в организме, в связи с чем происходит нарушение микрофлоры кишечника, снижение молочной продуктивности и естественной резистентности организма. Снижение иммунитета и нарушение состава микрофлоры провоцируют восприимчивость к инфекционным агентам и расстройства пищеварительных функций. К сожалению, до сих пор одним из самых распространенных приемов борьбы с этими заболеваниями в России остаётся применение антибиотиков [2]. Кроме лечебного эффекта, эти препараты положительно влияют на рост животных и используются в качестве консервантов кормов и кормовых добавок – стимуляторов роста [3].

Широкое и не всегда обоснованное применение антибиотиков сопровождается образованием устойчивых к лекарствам штаммов микроорганизмов у животных, а также и у людей [4, 5].

Согласно исследованиям Дж. Годзишевской с соавт. (J. Godziszewska et al.), штаммы колиформных бактерий, выделенные из сырого коровьего молока, были устойчивы к ряду применяемых в ветеринарии антибиотиков: пенициллину (88 %), канамицину (39 %), стрептомицину (43 %), хлорамфениколу (78 %) и тетрациклину (55 %) [6].

Кроме этого, избыточное или неправильное применение антибиотиков в животноводстве может представлять угрозу для здоровья человека, вызывая дисбиозы, аллергии, снижая иммунитет. Антибиотики, применяемые для терапевтических целей, для стимуляции роста и развития молодняка животных, в значительных

количествах накапливаются в продуктах питания – мясе, молоке, яйцах. Свободная концентрация антибиотиков в течение небольшого периода времени выводится из организма животного с продуктами жизнедеятельности – калом, мочой, полученной продукцией (молоко, яйца), а связанная с белками и другими компонентами длительное время сохраняется в организме. Выводимые из организма антибиотики попадают в виде органических удобрений в почву и далее накапливаются в картофеле, овощах и других растениеводческих продуктах питания [7, 8].

Поиск новых, более эффективных препаратов, не вызывающих лекарственной устойчивости и обладающих выраженным антимикробным действием, в том числе и в отношении резистентных к антибиотикам штаммов микробов, весьма актуален как в медицине, так и ветеринарии. Оптимальным путём решения этой проблемы является включение в состав кормов пробиотиков [2].

В последнее время в кормлении животных находят применение пробиотические препараты, в состав которых входят живые микроорганизмы симбионты желудочно-кишечного тракта [9]. Пробиотические препараты, содержат штаммы живых бактерий, выделенных из желудочно-кишечного тракта животных, стимулирующие не только развитие и жизнедеятельность полезной симбиотной микрофлоры, но и подавляющие рост патогенных и условно-патогенных штаммов микроорганизмов. Пробиотические препараты широко используются для улучшения процессов пищеварения, повышения эффективности использования кормов, улучшения обменных процессов, а также профилактики и лечения желудочно-кишечных болезней инфекционной и неинфекционной природы, возникающие вследствие резкого изменения состава рациона, нарушений режимов кормления, технологических стрессов, переустановления, корректировки симбиотной микрофлоры пищеварительного тракта после лечения антибиотиками и антибактериальными химиотерапевтическими средствами, в качестве замены антибиотиков при стимуляции неспецифического иммунитета и в целом для роста продуктивности животных [8, 10, 11].

Таким образом, необходимо шире внедрять данные добавки как мало затратный, многократно окупающий себя способ повышения

продуктивности и качества животноводческой продукции. Мониторинг рынка пробиотиков указывает на то, что большинство современных пробиотиков весьма эффективны, но в то же время некоторые из них не востребованы практикой из-за высокой стоимости. В связи с этим молочное животноводство нуждается в разработке дешевых и эффективных препаратов пробиотического действия [12].

Одним из таких препаратов нового поколения является ферментный пробиотик «Румит», разработанный ООО «Биотроф». Компанией был проведен скрининг высокоэффективных изолятов из рубцового содержимого северных оленей для создания коллекции бактерий, обладающих целлюлозолитическими и антимикробными свойствами, а также способностью осуществлять биодеструкцию микотоксинов, в качестве основы высокоэффективных препаратов для оленеводства и других отраслей животноводства. На основании проведенных исследований создан биопрепарат «Румит», который представляет собой ассоциацию выделенных из рубца северного оленя бактерий (родов *Bacillus*, *Bacteroides*, *Porphyromonas*, *Pseudomonas* и др.), нанесенных на шрот подсолнечниковый в количестве 2×10^7 КОЕ/г и высушенных с получением сухого концентрата в виде порошка.

Олени обладают адаптивными возможностями рубца к условиям скудного пищевого рациона и короткого вегетационного периода

растений. Следовательно, можно предположить, что у оленей в рубце содержится больше целлюлозолитических бактерий, чем в рубце жвачных животных. Известно, что целлюлозолитические бактерии расщепляют клетчатку и, как результат, обеспечивают лучшее переваривание и усвоение корма в организме животного [13].

Цель исследований – определить эффективность использования пробиотика «Румит» в кормлении лактирующих коров айрширской породы.

Научная новизна – впервые изучена результативность применения ферментативно-пробиотического препарата «Румит» в кормлении дойных коров айрширской породы.

Материал и методы. Для реализации поставленных задач на базе ООО «Заря» Чагодощенского района Вологодской области был проведен эксперимент по использованию в кормлении дойных коров айрширской породы в период раздоя ферментативно-пробиотического препарата «Румит». Исследования проводили с марта по июль 2021 года. Длительность опыта (предварительного и учетного периодов) составила 110 дней. Для изучения влияния биодобавки на уровень молочной продуктивности и состояния здоровья животных были сформированы две группы коров айрширской породы по 15 голов в начале лактации, подобранных методом сбалансированных групп (табл. 1).

**Таблица 1 – Характеристика групп подопытных коров по основным показателям отбора ($X \pm m_x$) (n = 15) /
Table 1 – Characteristics of experimental animal groups according to the main selection indicators, ($X \pm m_x$) (n = 15)**

| Группа / Group | Номер последней законченной лактации / Last completed lactation | Надой за последнюю законченную лактацию, кг / Milk yield for the last completed lactation, kg | Живая масса, кг / Live weight, kg | Дойных дней текущей лактации / Dairy days of current lactation | Суточный удой, кг / Daily milk yield, kg |
|---------------------------|--|--|--------------------------------------|---|---|
| Контрольная / Control | 1,67±0,29 | 6825±386 | 524±4 | 55±7,1 | 29,6±1,2 |
| Опытная / Experimental | 1,73±0,28 | 6764±356 | 532±11 | 59±6,0 | 29,7±1,3 |

Животные, участвующие в эксперименте, содержались в типовом коровнике привязным способом. Содержание животных было раздельное, идентичное для контрольной и опытной групп, соответствующее нормам зооигиенического контроля. Коровы контрольной группы получали хозяйственный рацион, а животным

опытной группы в дневное кормление дополнительно давали по 50 г на голову в сутки пробиотика «Румит».

В начале опыта для подтверждения того, что в эксперименте принимают участие только здоровые животные была проведена оценка физиологических показателей (температура,

пульс, дыхание, сокращение рубца) и морфологических параметров крови (по 5 животных в каждой группе).

Согласно детализированным нормам, все животные в зависимости от живой массы, физиологического состояния, продуктивности и возраста получали основной рацион с учетом химического состава местных кормов¹.

Учет молочной продуктивности исследуемых животных проводили путем контрольных доек один раз в месяц. В лабораторных условиях оценивали качественные характеристики молока – массовая доля жира и массовая доля белка.

Биохимический анализ крови проводили по окончании эксперимента (по 5 голов в каждой группе коров). Отбор проб крови для оценки биохимических и морфологических показателей проводили из подвостовой вены перед утренним кормлением. Анализ показателей крови осуществляли с помощью стандартных тест-наборов фирмы «Диакон-Вет» на автоматических анализаторах URIT-3020 (Китай) и iMagic-V7 (Китай) в ЦКП «Центр сельскохозяйственных исследований и биотехнологий» ФГБУН ВолНЦ РАН.

Отбор рубцовой жидкости проводили у 5 животных в каждой группе, активность рубцовой микрофлоры определяли методом подсчета времени обесцвечивания 0,03 % раствора метиленового синего в количестве 1 мл, добавленного к 20 мл рубцового содержимого (метод с метиленовым синим по Г. Дирксену (G. Dirksen))².

Расчет экономической эффективности использования в рационах коров пробиотика «Румит» проводили согласно общепринятым методикам³. Статистическую обработку результатов исследований осуществляли с использованием методических руководств по биометрии. Материал обработан стандартными статистическими методами с помощью компьютерной программы Excel и «Statistica for Windows, V 6.0».

Результаты и их обсуждение. Для опытов отбирали заведомо здоровых животных. Для этих целей в предварительный период

производственного опыта был проведен анализ физиологических параметров здоровья исследуемых коров на основании клинических показателей (температура, пульс, частота дыхания и сокращения рубца), а также общий анализ крови.

Температура тела и пульс у животных опытной и контрольной групп находились в пределах рекомендуемых значений – 38,0 °С и 63 уд/мин. соответственно. Частота дыхания в контрольной группе коров составляла 22 раза в мин., в опытной – 23 раза в мин. При оценке частоты сокращений рубца было установлено, что в обеих группах животных его значение находилось в пределах физиологической нормы – 4,0 раза в минуту.

Гематологические показатели имеют немаловажное значение, так как помогают вовремя выявлять скрыто протекающие патологические процессы, более точно устанавливать их сущность и характер, улавливать различные осложнения у больного животного еще до начала выраженного клинического проявления. В таблице 2 представлены морфологические показатели крови подопытных животных на начало проведения эксперимента.

Из данных таблицы 2 следует, что гематологические показатели исследуемых групп животных находились в пределах рекомендуемых значений. Так, содержание лейкоцитов в крови контрольной и опытной групп коров составляло 11,7 и $11,1 \times 10^9$ /л соответственно, что может говорить об отсутствии скрыто протекающих инфекционных и воспалительных процессах в организме животных. Концентрация эритроцитов в крови у коров контрольной и опытной групп равнялась 6,2 и $5,6 \times 10^{12}$ /л, при уровне гемоглобина 86 и 82 г/л соответственно.

Из вышесказанного следует, что физиологические параметры здоровья и гематологические показатели исследуемых животных находились в пределах физиологических норм и существенно между коровами контрольной и опытной групп не различались, т. е. в эксперименте участвовали клинически здоровые животные.

¹Некрасов Р. В., Головин А. В., Махаева Е. А., Аникин А. С., Первов Н. Г., Стрекозов Н. И., Мысик А. Т., Дуборезов В. М., Чабаев М. Г., Фомичев Ю. П., Гусев И. В. Нормы потребностей молочного скота и свиней в питательных веществах: монография. М., 2018. 290 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35382979> EDN: XVLDM

²Методы ветеринарной клинической лабораторной диагностики: справочник. Под общ. ред. И. П. Кондрахина. М.: КолосС, 2004. 520 с.

³Методические указания по апробации в условиях производства и расчету эффективности научно-исследовательских разработок в области кормления и физиологии сельскохозяйственных животных. Сост. В. И. Георгиевский и др. М.: ВАСХНИЛ, 1984. 24 с.

Таблица 2 – Морфологические показатели крови коров перед применением пробиотика «Румит» (X±m_x) (n = 5) /

Table 2 - Morphological parameters of cows' blood before using the probiotic "Rumit" (X±m_x) (n = 5)

| Показатели / Indicators | Референсные значения ⁴ / Reference values | Группа / Group | |
|---|--|-----------------------|------------------------|
| | | контрольная / control | опытная / experimental |
| Эритроциты, 10 ¹² /л / Erythrocytes, 10 ¹² /l | 5,0-10,0 | 6,2±0,22 | 5,6±0,24 |
| Гемоглобин, г/л / Hemoglobin, g/l | 80,0-120,0 | 86±4,5 | 82±3,4 |
| Гематокрит, % / Hematocrit, % | 24,0-46,0 | 25,3±1,2 | 24,3±1,4 |
| Тромбоциты, 10 ⁹ /л / Thrombocytes, 10 ⁹ /l | 100,0-800,0 | 261±101 | 346±74 |
| Лейкоциты, 10 ⁹ /л / Leukocytes, 10 ⁹ /l | 4,0-12,0 | 11,7±0,38 | 11,1±1,26 |
| Лимфоциты, % / Lymphocytes, % | 45,0-75,0 | 34,9±2,6 | 32,5±3,4 |
| Гранулоциты, % / Granulocytes, % | 27,0-46,0 | 58,6±2,3 | 68,1±2,0 |
| Средний объем эритроцита, фл / Average erythrocyte volume, fl | 40,0-60,0 | 40,4±1,4 | 40,0±1,4 |
| Среднее содержание гемоглобина в эритроците, пг / Average hemoglobin in erythrocyte, pg | 13,20-19,80 | 13,3±0,8 | 13,4±0,3 |
| Средняя концентрация гемоглобина в эритроците, г/л / Average hemoglobin concentration in erythrocyte, g/l | 310,0-410,0 | 330±11 | 343±3 |
| Средний объем тромбоцита, фл / Average thrombocyte volume, fl | 4,5-6,7 | 5,6±0,20 | 6,0±0,09 |

Известно, что кормление и, как следствие, рубцовое пищеварение является одним из ведущих факторов обеспечения высокой продуктивности молочного поголовья [14]. Это объясняется тем, что в период лактации организм животного находится в состоянии усиленной функциональной деятельности, в преджелудках происходят сложные процессы ферментации кормов посредством огромного количества бактерий, грибов, простейших, а также всасывание питательных веществ и синтез новых. Всё это обеспечивает животное необ-

ходимой энергией и питательными веществами, влияет на физиологические процессы, протекающие в организме, что, в свою очередь, способствует усилению обменных процессов, продуктивных и репродуктивных явлений. Важным моментом в указанных процессах является возможность управления рубцовым пищеварением посредством коррекции рациона. В этой связи нами изучено влияние скармливания пробиотика «Румит» на некоторые показатели рубцового содержимого животных (табл. 3).

Таблица 3 – Активность рубцовой микрофлоры коров до и после применения в рационах пробиотика «Румит» (X±m_x) (n = 5) /

Table 3 – Activity of ruminal microflora of cows before and after the use of probiotic "Rumit" in the diets (X±m_x) (n = 5)

| Группа / Group | Время обесцвечивания индикатора, мин. / Indicator discoloration time, minutes | |
|------------------------|---|--|
| | на начало эксперимента / at the beginning of the experiment | на конец эксперимента / at the end of the experiment |
| Контрольная / Control | 5,1±0,4 | 4,9±0,3 |
| Опытная / Experimental | 5,0±0,3 | 3,6±0,3* |

Примечание: Различия достоверны при сравнении указанных групп при *P≤0,05 / Note: The differences are significant when comparing these groups *P≤0.05

⁴Там же.

В начале и конце опыта по органолептическим показателям все пробы были благополучными: цвет – от серо-зеленого до коричнево-зеленого, запах – специфический, ароматный (без затхлости и кисловатости), консистенция – слабвязкая. Как следует из данных таблицы 3, на начало эксперимента активность рубцовой микрофлоры животных контрольной и опытной групп находилась на одном уровне. После скармливания пробиотика отмечено снижение временного показателя на 1,4 мин. Таким образом активность рубцовой микрофлоры за 90 дней эксперимента в опытной группе достоверно выросла на 28 %, в контрольной группе данный показатель был ниже на 36 %, что может косвенно свидетельствовать о

положительном влиянии пробиотика на процессы пищеварения в рубце.

В условиях интенсивной технологии производства молока увеличивается нагрузка на обмен веществ организма животного. Для поддержания активных обменных процессов необходимо поступление с рационами в оптимальном количестве всех нормируемых веществ и элементов. Для усиления контроля за полноценностью кормления коров и обеспечения оперативности реагирования на питательные дисбалансы и корректировки рационов необходимо определять биохимические показатели крови [12]. Особую важность имеет правильный выбор показателей, которые в наибольшей степени отражают все стороны обмена веществ (табл. 4).

Таблица 4 – Биохимические показатели крови коров после использования в рационах пробиотика «Румит» ($X \pm m_x$) (n = 5) /

Table 4 – Biochemical blood parameters of cows after using the probiotic "Rumit" in the diets ($X \pm m_x$) (n = 5)

| Показатель / Indicator | Референсные значения ⁵ / Reference values | Группа / Group | |
|---|--|-----------------------|------------------------|
| | | контрольная / control | опытная / experimental |
| Белок общий, г/л / Total protein, g/l | 60-89 | 77±3,4 | 88±1,5* |
| Альбумины, г/л / Albumin, g/l | 35-50 | 37±0,49 | 38±0,59 |
| Билирубин общий, мкмоль/л / Total bilirubin, μmol/l | 0,20-5,10 | 2,42±0,19 | 1,86±0,17* |
| Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l | 56-163 | 81,5±4,5 | 82,6±2,49 |
| Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l | 3,36-6,70 | 5,39±0,29 | 4,36±0,23* |
| Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mmol/l | 2,50-3,88 | 2,26±0,10 | 2,35±0,19 |
| Холестерин общий, ммоль/л / Total cholesterol, mmol/l | 2,1-8,2 | 5,0±0,62 | 5,3±0,45 |
| Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mmol/l | 0,03-0,55 | 0,17±0,01 | 0,14±0,01 |
| АЛТ, Ед/л / ALT, u/l | 7,6-35 | 30,9±4,0 | 33,0±2,5 |
| АСТ, Ед/л / AsAm, u/l | 45-120 | 95±6,5 | 93±5,5 |
| ЛДГ, Ед/л / LDH, u/l | 940-2400 | 1682±45,9 | 1641±77,2 |

Примечание: Различия достоверны при сравнении групп при * $P \leq 0,05$ /
Note: The differences are significant when comparing these groups * $P \leq 0,05$

Полученные данные свидетельствуют, что у всех экспериментальных животных содержание общего белка находилось в пределах рекомендуемых значений, но в опытной группе его концентрация была выше, чем в контрольной на 14,3 % ($P \leq 0,05$). Данная тенденция может быть связана с активизацией процессов синтеза и обновления белков, а также с более интенсивным использованием аминокислот не для

образования мочевины, а в синтезе других соединений у коров. Содержание мочевины в крови опытной группы коров было ниже на 19 % ($P \leq 0,05$), чем в контроле, что свидетельствует о повышении эффективности использования азота корма для синтеза микробного белка. В опытной группе коров, получавших дополнительно к основному рациону пробиотик «Румит», снизилось содержание билирубина на 23,1 % ($P \leq 0,05$).

⁵Там же.

Креатинин, как и мочевина, является побочным продуктом обмена веществ. Если способность почек выводить мочевину и креатинин нарушается, они начинают накапливаться в крови. В исследовании содержание креатинина в сыворотке крови животных находилось в пределах нормы и колебалось от 81,5 до 82,6 мкмоль/л. Активность ферментов аланинаминотрансферазы и аспартатаминотрансферазы в крови коров находилась в пределах физиологических норм.

У коров углеводный обмен играет огромную роль в предопределении степени интенсивности других обменных процессов. Основным показателем углеводного обмена служит концентрация глюкозы. Глюкоза является источником энергии практически для всех жизненно важных физиологических процессов. Уровень глюкозы в сыворотке крови у исследуемых животных в опытной группе был несколько выше, чем в контроле. Липиды,

включающие триглицериды, холестерин и фосфолипиды, а также их производные, обеспечивают организм энергией и играют значительную роль в функционировании эндокринной системы и некоторых внутриклеточных сигнальных путей. В контрольной и опытной группах содержание триглицеридов находилось в пределах допустимых значений.

Интенсификация молочного скотоводства является экономически эффективным мероприятием, так как с увеличением удоев коров снижаются затраты корма, труда, капиталовложений на 1 ц молока, что обеспечивает более низкую его себестоимость. Уровень удоев, при котором производство молока рентабельно, обуславливается природно-экономическими условиями зоны и особенностями хозяйства, в частности себестоимостью кормовой единицы рациона, уровнем закупочных цен на молоко и особенностями технологии производства [15].

Таблица 5 – Затраты энергии на производство 1 кг молока при применении в рационах коров пробиотического препарата «Румит»/

Table 5 – Energy costs for the production of 1 kg of milk when using the probiotic drug "Rumit" in cow's diets

| Показатель / Indicator | Группа / Group | |
|--|-----------------------|----------------------|
| | контрольная / control | опытная experimental |
| Среднесуточный удой базисной жирности, кг / Average daily yield of basic fat content, kg | 25,4 | 27,1 |
| ЭКЕ / EFU (Energy feed unit) | 0,96 | 0,91 |
| Сухое вещество, г / Dry matter, g | 936 | 877 |
| Переваримый протеин, г / Digestible protein, g | 104 | 97 |

Животные, участвующие в опыте, потребляли хозяйственный рацион, который содержит 24,6 ЭКЕ, 23,8 кг сухого вещества и 2633 г переваримого протеина. С учетом роста молочной продуктивности у животных, получавших дополнительно к основному рациону добавку «Румит», затраты корма на продукцию были ниже. Так, затраты энергетических кормовых единиц в опытной группе были ниже, чем в контрольной на 5,2 %, сухого вещества и переваримого протеина на продукцию – 6,3 и 6,7 % соответственно. В целом применение препарата ферментативно-пробиотического действия в кормлении лактирующих коров ведет к снижению затрат кормов на единицу продукции, что согласуется с результатами других исследователей [16, 17].

В ходе проводимых исследований по результатам ежемесячных контрольных доек

было определено положительное влияние препаратов ферментативно-пробиотического действия в рационах лактирующих коров на их продуктивные качества и последующую эффективность производства молока (табл. 6).

Из данных таблицы 6 следует, что среднесуточный удой базисной жирности у коров контрольной и опытной групп составил 25,4 и 27,1 кг на голову в сутки соответственно. Продуктивность животных, получавших добавку, была выше, чем в контрольной группе на 6,7 %. Валовой надой на одно животное за 90 суток эксперимента в опытной группе был выше, по сравнению с контрольной, на 153 кг. Дополнительная прибыль от реализации молока, с учетом стоимости рациона и стоимости добавки, в опытной группе животных, по сравнению с контрольной, составила 37,32 руб. на голову в сутки.

Таблица 6 – Экономическая эффективность производства молока при включении в рационы коров пробиотика "Румит" (в расчете на одну голову) /
Table 6 – Economic efficiency of milk production when the probiotic "Rumit" is included in the rations of cows (per head)

| Показатель / Indicator | Группа / Group | |
|---|-----------------------|------------------------|
| | контрольная / control | опытная / experimental |
| Среднесуточный удой базисной жирности, кг / Average daily milk yield of basic fat content, kg | 25,4±1,1 | 27,1±1,3 |
| % к контролю / % to control | 100,0 | 106,7 |
| Валовой надой базисной жирности за 90 суток опыта, кг / Gross milk yield of basic fat content for 90 days of experience, kg | 2286 | 2439 |
| Цена реализации 1 кг молока, руб. / Selling price of 1 kg of milk, rubles | 28,13 | 28,13 |
| Выручка от реализации произведенной продукции, руб. / Proceeds from sales of manufactured products, rubles | 64305,2 | 68609,1 |
| Стоимость рациона за период опыта, руб. / Diet cost for the period of experiment, rubles | 37254,5 | 37254,5 |
| Стоимость рациона с добавкой, руб. / Diet cost with supplement, rubles | - | 38199,5 |
| Прибыль от реализации молока, руб. / Profit from the sale of milk, rubles | 27050,7 | 30409,6 |
| Дополнительная прибыль от реализации молока за период опыта, руб. / Additional profit from the sale of milk for the period of experiment, rubles | - | 3358,9 |
| Дополнительная прибыль на голову, руб. в сутки / Additional profit per animal, rubles per day | - | 37,32 |

Заключение. По результатам проведенных исследований установлено, что включение в основной рацион коров айрширской породы ферментативно-пробиотического препарата «Румит» способствовало увеличению активности рубцовой микрофлоры на 28 % и улучшению отдельных биохимических параметров

крови. Более интенсивные процессы в организме животных привели к повышению молочной продуктивности на 6,7 % и, как следствие, к сокращению затрат на производство продукции и получению дополнительной прибыли от реализации молока в размере 37,32 рубля от одного животного в сутки.

Список литературы

1. Романов В. Н., Боголюбова Н. В., Лаптев Г. Ю., Ильина Л. А. Современные способы улучшения здоровья и роста продуктивности жвачных животных. Подольск: ФНЦ ВИЖ, 2018. 128 с.
2. Овчарова А. Н., Петраков Е. С. Новые пробиотические препараты на основе *Lactobacillus reuteri* и перспективы использования их в животноводстве. Проблемы биологии продуктивных животных. 2018;(2):5-18. DOI: <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2018.2.5-18> EDN: XUZRUL
3. Шульга Н. Н., Шульга И. С., Плавшак Л. П. Антибиотики в животноводстве – пути решения проблемы. Тенденции развития науки и образования. 2018;(35-4):52-55. DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-28-02-2018-68> EDN: KAYDAW
4. Wemette M., Safi A. G., Wolverson A. K., Beauvais W., Shapiro M., Moroni P., Welcome F. L., Ivanek R. Public perceptions of antibiotic use on dairy farms in the United States. Journal of Dairy Science. 2021;104(3):2807-2821. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17673>
5. Scott A. M., Beller E., Glasziou P., Clark J., Ranakusuma Respati W., Byambasuren O., Bakhit M., Page Stephen W., Trott D., Mar C. D. Is antimicrobial administration to food animals a direct threat to human health? A rapid systematic review. International Journal of Antimicrobial Agents. 2018;52(3):316-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.04.005>
6. Godziszewska J., Pogorzelska-Nowicka E., Brodowska M., Jagura-Burdzy G., Wierzbiicka A. Detection in raw cow's milk of coliform bacteria-reservoir of antibiotic resistance. LWT. 2018;93:634-640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.019>
7. Рябцева В. В. Пробиотики взамен антибиотиков. Современные аспекты биобезопасности продукции животноводства: мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф. Орел: Орловский ГАУ имени Н. В. Парахина, 2018. С. 94-100. Режим доступа: <https://elibrary.ru/vqgmbs> EDN: VQGMBS
8. Лютых О. Война бактерий: пробиотики для животных. Эффективное животноводство. 2020;(3):110-114. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/voyna-bakteriy-probiotiki-dlya-zhivotnyh>

9. Лаптев Г. Ю., Новикова Н. И., Ыылдырым Е. А., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Дубровин А. В., Тарлавин Н. В. Микробиом сельскохозяйственных животных: связь со здоровьем и продуктивностью. СПб.: Проспект Науки, 2020. 336 с.

10. Ma T., Suzuki Y., Guan L. L. Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2018;205:35-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>

11. Аристов А. В., Головина Ю. Г. Использование пробиотиков, пребиотиков и синбиотиков в кормлении крупного рогатого скота. Ветеринарно-санитарные аспекты качества и безопасности сельскохозяйственной продукции: мат-лы IV Международн. научн.-практ. конф. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2020. С. 26-28. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44714996> EDN: GAFEZA

12. Смирнова Ю. М., Литонина А. С., Платонов А. В. Эффективность использования пробиотиков в кормлении дойных коров. *Вестник КрасГАУ*. 2020;(9(162)):145-150. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-145-151> EDN: SYUJMG

13. Литонина А. С., Смирнова Ю. М., Платонов А. В. Влияние пробиотика «Румит» на ростовую активность телят черно-пестрой породы. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2022;23(3):395-401. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.395-401> EDN: EPLQRR

14. Семенов С. Н., Аристов А. В., Саврасов Д. А. Результативность использования в рационе коров новой сорбционно-пробиотической кормовой добавки. Химическая кинетика и цепные реакции: теория и практика: мат-лы Всеросс. научн.-практ. конф., к 125-летию со дня рождения академика Н. Н. Семёнова. Орел: ООО ПФ Картуш, 2020. С. 119-123. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44309995> EDN: QBJJCQ

15. Силаева Л. П., Алексеев С. А., Захарова А. П. Размещение производства и потребление молока в Российской Федерации. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2017;(2):44-50. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29205019> EDN: YPCKXP

16. Буяров В. С., Мальцева М. А., Алдобаева Н. А. Научно-практическое обоснование применения пробиотиков в молочном скотоводстве и мясном птицеводстве. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2018;(2(23)):79-86. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35359686> EDN: UVQSPL

17. Вагапов Ф. Ф., Давлянова Р. Г., Нигматьянов А. А. Пробиотическая добавка «Ветоспорин-актив» в рационах коров чёрно-пестрой породы и её влияние на технологические свойства, биологическую и экономическую эффективность производства молока. *Вестник Башкирского государственного аграрного университета*. 2016;(2):29-32. DOI: <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2016-38-2-29-32> EDN: WZDZFT

References

1. Romanov V. N., Bogolyubova N. V., Laptev G. Yu., Ilina L. A. Modern ways to improve the health and productivity growth of ruminants. *Podol'sk: FNTs VIZh*, 2018. 128 p.

2. Ovcharova A. N., Petrakov E. S. New probiotic preparations based on *lactobacillus reuteri* and prospects of using them in animal husbandry (a review). *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh = Problems of Productive Animal Biology*. 2018;(2):5-18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25687/1996-6733.prodanimbio.2018.2.5-18>

3. Shulga N. N., Shulga I. S., Plavshak L. P. Antibiotics in animal husbandry – ways to solve the problem. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2018;(35-4):52-55. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/lj-28-02-2018-68>

4. Wemette M., Safi A. G., Wolverson A. K., Beauvais W., Shapiro M., Moroni P., Welcome F. L., Ivanek R. Public perceptions of antibiotic use on dairy farms in the United States. *Journal of Dairy Science*. 2021;104(3):2807-2821. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2019-17673>

5. Scott A. M., Beller E., Glasziou P., Clark J., Ranakusuma Respati W., Byambasuren O., Bakhit M., Page Stephen W., Trott D., Mar C. D. Is antimicrobial administration to food animals a direct threat to human health? A rapid systematic review. *International Journal of Antimicrobial Agents*. 2018;52(3):316-323. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijantimicag.2018.04.005>

6. Godziszewska J., Pogorzelska-Nowicka E., Brodowska M., Jagura-Burdzy G., Wierzbicka A. Detection in raw cow's milk of coliform bacteria-reservoir of antibiotic resistance. *LWT*. 2018;93:634-640. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.04.019>

7. Ryabtseva V. V. Probiotics instead of antibiotics. Modern aspects of biosafety of livestock products: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference. Orel: *Orlovskiy GAU imeni N. V. Parakhina*, 2018. pp. 94-100. URL: <https://elibrary.ru/vqgmbs>

8. Lyutykh O. The war of bacteria: probiotics for animals. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2020;(3):124-125. (In Russ.). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/voyna-bakteriy-probiotiki-dlya-zhivotnykh>

9. Laptev G. Yu., Novikova N. I., Yyldyrym E. A., Ilina L. A., Filippova V. A., Dubrovin A. V., Tarlavin N. V. Microbiome of farm animals: connection with health and productivity. Saint-Petersburg: *Prospekt Nauki*, 2020. 336 p.

10. Ma T., Suzuki Y., Guan L. L. Dissect the mode of action of probiotics in affecting host-microbial interactions and immunity in food producing animals. *Veterinary Immunology and Immunopathology*. 2018;205:35-48. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetimm.2018.10.004>
11. Aristov A. V., Golovina Yu. G. Use of probiotics, prebiotics and synbiotics in cattle feeding. Veterinary-sanitary aspects of quality and safety of agricultural products: Proceedings of the IV International scientific-practical conf. Voronezh: *Voronezhskiy GAU im. Imperatora Petra I*, 2020. pp. 26-28. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44714996>
12. Smirnova Yu. M., Litonina A. S., Platonov A. V. The efficiency of probiotics use in feeding dairy cows. *Vestnik KrasGAU = The Bulletin of KrasGAU*. 2020;(9(162)):145-150. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2020-9-145-151>
13. Litonina A. S., Smirnova Yu. M., Platonov A. V. The effect of the probiotic "Rumit" on the growth activity of black-and-white calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(3):395-401. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.3.395-401>
14. Semenov S. N., Aristov A. V., Savrasov D. A. Efficiency of use in the diet of cows new sorption and probiotic forage additive. Chemical kinetics and chain reactions: theory and practice: Proceedings of the All-Russian scientific-practical Conf., to the 125th anniversary of Academician N. N. Semyonov. Orel: *ООО ПФ Kartush*, 2020. pp. 119-123. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44309995>
15. Silaeva L. P., Alekseev S. A., Zakharova A. P. Placement of production and consumption of milk in the Russian Federation. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy*. 2017;(2):44-50. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29205019>
16. Buyarov V. S., Maltseva M. A., Aldobaeva N. A. Scientific and practical rationale of probiotics application in dairy cattle and meat poultry breeding. *Agrarnyy vestnik Verkhnevolzh'ya = Agrarian Journal of Upper Volga Region*. 2018;(2(23)):79-86. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=35359686>
17. Vagapov F. F., Davlyanova R. G., Nigmatyanov A. A. «Vetosporin-aktiv» probiotic supplement in rations of black and white cows and its effect on technological properties, biological and economic efficiency of milk production. *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik Bashkir State Agrarian University*. 2016;(2):29-32. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2016-38-2-29-32>

Сведения об авторах

✉ **Смирнова Юлия Михайловна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», ул. Горького, д. 56а, г. Вологда, Вологодская область, Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9155-5110>, e-mail: julya_smirnova_35@list.ru

Платонов Андрей Викторович, кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», ул. Горького, д. 56а, г. Вологда, Вологодская область, Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

Котелевская Валерия Александровна, лаборант лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр РАН», ул. Горького, д. 56а, г. Вологда, Вологодская область, Российская Федерация, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3664-6906>

Information about the authors

✉ **Yulia M. Smirnova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A, Gorky Street, Vologda, Vologda Oblast, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9155-5110>, e-mail: julya_smirnova_35@list.ru

Andrey V. Platonov, PhD in Biological Science, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A, Gorky Street, Vologda, Vologda Oblast, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

Valeria A. Kotelevskaya, laboratory assistant, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, 56A, Gorky Street, Vologda, Vologda Oblast, Russian Federation, 160014, e-mail: common@volnc.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3664-6906>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486>
УДК 619:616-07+633.8+615.015.21



Экспериментальный фитобиотик Фитостимплюс и его применение телятам

© 2023. А. А. Ивановский ✉, Н. А. Латушкина

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

Цель работы – изучить состав биологически активных соединений экспериментальной биодобавки Фитостимплюс и ее влияние на биохимические показатели крови телят молочного периода выращивания, прирост массы тела, сохранность. В эксперименте использовали телят голштинской породы, начиная с возраста трех дней на протяжении двух месяцев. Результаты исследований фитобиотика на наличие биологически активных веществ показали, что в нем содержится 13 различных флавоноидов и их гликозидов, 7 экдистероидов. Основными флавоноидами идентифицированы лютеолин, кверцетин, кверцетин-3-метилловый эфир, апигенин, кемпферол, а экдистероидами – экдистен, инокостерон и аугастерон С. Общая концентрация исследуемых экстрактивных веществ (флавоноиды, экдистероиды) в пересчете на сухой продукт составила 3,594 мг/г, концентрация молочнокислых микроорганизмов в Фитостимплюс – 4×10^6 КОЕ/г. В эксперименте на телятах ($n = 5$ в группе) установили, что после ежедневного перорального введения в течение 60 суток Фитостимплюс в дозах 1,0; 2,0; 3,0 г на голову среднесуточный прирост живой массы в опытных группах превзошел таковой в контроле на 6,3-27,7%. Наилучший показатель среднесуточного прироста живой массы телят отмечен при введении 2,0 и 3,0 г (на 27,7 и 18,2 % соответственно выше, чем в контроле), сохранность во всех группах – 100 %. Через месяц после начала опыта показатель фосфора в крови телят во всех опытных (от $3,1 \pm 0,07$ до $3,4 \pm 0,02$ ммоль/л) и контрольной ($3,1 \pm 0,01$ ммоль/л) группах превышал референсные значения на 6,9-17,2 %. По окончании опыта показатель фосфора в опытных (от $2,7 \pm 0,22$ до $2,8 \pm 0,07$ ммоль/л) и контрольной ($2,6 \pm 0,01$ ммоль/л) группах соответствовал норме. Глюкоза в опытных и контрольной группах (от $5,3 \pm 0,2$ до $5,9 \pm 0,1$ ммоль/л) на 15,0-28,2% превышала показатель референсных значений. Остальные исследуемые биохимические показатели в опытных группах: АЛТ (от $13,4 \pm 1,6$ до $19,9 \pm 2,2$ ед./л), АСТ (от $56,3 \pm 3,2$ до $63,3 \pm 4,8$ ед./л), общий белок (от $62,0 \pm 0,1$ до $65,0 \pm 0,1$ г/л), альбумины (от $39,3 \pm 1,4$ до $41,5 \pm 2,4$ г/л), креатинин (от $64,8 \pm 3,5$ до $72,8 \pm 6,6$ мкмоль/л), мочевины (от $2,7 \pm 0,16$ до $3,6 \pm 0,3$ ммоль/л) – не выходили за пределы физиологической нормы. Таким образом, Фитостимплюс к окончанию эксперимента способствовал увеличению среднесуточного прироста телят в сравнении с контролем. Установлены эффективные дозы Фитостимплюс для телят молочного периода выращивания, которые в пересчете на основную субстанцию соответствовали 2-3 г/голову в сутки.

Ключевые слова: травы, экдистероиды, флавоноиды, молочнокислые микроорганизмы, кровь, прирост живой массы

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).

Авторы благодарят главного ветеринарного врача АО «Кировский молочный комбинат» Е. С. Муравину, главного зоотехника ООО «Агрофирма Мухино» Зуевского района Кировской области М. Е. Мочилову и директора ООО «Продвинутые технологии» (г. Москва) М. А. Анаяна за содействие в проведении исследований.

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: 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>

Поступила: 21.02.2023

Принята к публикации: 23.05.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Experimental phytobiotic Phytostimplus and its application to calves

© 2023. Alexander A. Ivanovsky ✉, Natalya A. Latushkina

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

The purpose of the research is to study the composition of biologically active compounds of the experimental biological supplement Phytostimplus and its influence on the biochemical parameters of the blood of calves of the milk growing period, body weight gain, safety. In the experiment Holstein calves starting from the age of 3 days were used during 2 months. The results of studies of the phytobiotic for the presence of biologically active substances showed that it contained 13 different flavonoids and their glycosides, 7 ecdysteroids. As the main flavonoids there were identified luteolin, quercetin, quercetin-3-methyl ether, apigenin, kaempferol, and as ecdysteroids - ecdysten, inocosterone and augasterone C. The total concentration of the studied extractives (flavonoids, ecdysteroids) in terms of dry product corresponded to 3.594 mg/g. The concentration of lactic acid microorganisms in Phytostimplus was 4×10^6 CFU/g. In the experiment on calves ($n = 5$ per group) it was found

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ/ ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

that after daily oral administration for 60 days *Phytostimplus* in doses of 1.0; 2.0; 3.0 grams per head, the average daily gain in live weight in the experimental groups exceeded that in the control by 6.3-27.7 %. The best indicator of the average daily gain in live weight of calves was noted with the introduction of 2.0 and 3.0 grams (27.7 and 18.2 % higher than in the control, respectively), safety in all groups was 100 %. A month after the start of the experiment, the phosphorus index in the blood of calves in all experimental (from 3.1 ± 0.07 to 3.4 ± 0.02 mmol/l) and control (3.1 ± 0.01 mmol/l) groups exceeded reference values by 6.9-17.2 %. At the end of the experiment, the phosphorus index in the experimental (from 2.7 ± 0.22 to 2.8 ± 0.07 mmol/l) and control (2.6 ± 0.01 mmol/l) groups returned to normal. Glucose in the experimental and control groups (from 5.3 ± 0.2 to 5.9 ± 0.1 mmol/l) was 15-28.2 % higher than the reference values. Other studied biochemical parameters in the experimental groups: ALT (from 13.4 ± 1.6 to 19.9 ± 2.2 units/l), AST (from 56.3 ± 3.2 to 63.3 ± 4.8 units/l), total protein (from 62.0 ± 0.1 to 65.0 ± 0.1 g/l), albumins (from 39.3 ± 1.4 to 41.5 ± 2.4 g/l), creatinine (from 64.8 ± 3.5 to 72.8 ± 6.6 μ mol/l), urea (from 2.7 ± 0.16 to 3.6 ± 0.3 mmol/l) – did not go beyond the physiological norm. Thus, by the end of the experiment, *Phytostimplus* contributed to an increase in the average daily gain of calves in comparison with the control. The effective doses of *Phytostimplus* for calves of the milk growing period were established, which, in terms of the main substance, corresponded to 2-3 g/head per day.

Keywords: herbs, ecdysteroids, flavonoids, lactic acid microorganisms, blood, live weight gain

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 State Budgetary Scientific Institution “Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky” (theme No. FNWE-2022-0003).

The authors thank E. S. Muravina, chief veterinarian of JSC “Kirov Dairy Plant”, M. E. Mochilova, chief livestock specialist of LLC “Agrofirma Mukhino”, Zuevsky district, Kirov region, and M. A. Ananyan, director of LLC “Advanced Technologies”, Moscow, for their assistance in conducting the research.

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

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

For citations: Ivanovskiy 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>

Received: 21.02.2023

Accepted for publication: 23.05.2023

Published online: 28.06.2023

В последние годы исследования ученых все больше концентрируются на разработке биодобавок и фармпрепаратов, содержащих в своем составе исключительно экологичные и безопасные для здоровья животных и человека вещества. Препараты и кормовые добавки, полученные в результате биологического синтеза, должны способствовать нормализации общей резистентности, метаболических процессов в организме животных и улучшать качество продукции животноводства в целом [1, 2]. Использование биологически активных веществ (БАВ) природного происхождения для создания фармпрепаратов и биодобавок в качестве лечебно-профилактических средств для животных представляет определенный интерес, в первую очередь, благодаря их безопасности для организма. Одним из основных источников получения БАВ естественного происхождения являются растения. В них идентифицирован целый ряд веществ, обладающих лечебно-профилактическим и регулирующим метаболические процессы действием в организме. БАВ из растений могут использоваться как альтернатива химически синтезируемым медикаментам. Огромное количество разнообразных соединений (флавоноидов, экистероидов, витаминов и др.), получаемых из растений, оказывают разностороннее влияние на работу органов и систем в организме животных и человека, в первую очередь это иммуномодулирующее, антиоксидантное и адаптогенное действие [3, 4, 5].

Особый интерес вызывают фитобиотики – биологически активные комплексы, содержащие БАВ растений и других естественных источников. При создании фитобиотических добавок используются экстракты, эфирные масла, органические кислоты, пробиотики, экистероиды, флавоноиды и другие биологически активные соединения [6, 7, 8].

В результате экспериментов, проведенных нами ранее, установлено, что введение в рацион лактирующих коров фитодобавки (в порошкообразной форме), содержащей экстракты растений *Rhaponticum carthamoides* (Willd.) Pjin, *Serratula coronata* L., *Filipendula ulmaria* L., не вызывает у животных негативных изменений со стороны морфологии, биохимии крови и клинического состояния. Показатели молока в опытной группе превысили результат в контроле: удой на 6,0 %, жир на 0,1 % и белок на 0,2 % [9]. Применение в рационах цыплят-бройлеров добавки, содержащей экстракт из комплекса трав, оказывало положительный эффект на прирост их живой массы [10]. На основе комплекса трав создан препарат «Фитагим», используемый для профилактики болезней желудочно-кишечного тракта у телят [11], что позволило повысить иммунный статус у телят в постпрофилактический период выращивания. Биологически активные соединения из различных растений активно изучаются учеными всего мира, а полученные результаты исследований на биологических тест-объектах

показали их высокую антиоксидантную активность, иммуностропное, кардио- и ангиопротективное действие на организм [12, 13, 14]. В связи с вышеизложенным, изучение новой экспериментальной фитобиотической добавки на животных является одним из шагов, направленных на более глубокое понимание механизма действия БАВ природного происхождения на различные системы организма животных.

Цель исследований – изучить состав биологически активных соединений экспериментальной биодобавки Фитостимплюс и ее влияние на биохимические показатели крови телят молочного периода выращивания, прирост массы тела и сохранность.

Научная новизна – получение новых экспериментальных данных о составе биологически активных соединений (флавоноиды, экистероиды) биодобавки Фитостимплюс, ее влияние на биохимические показатели крови, прирост живой массы телят молочного периода выращивания.

Материал и методы. Работа проводилась в лаборатории ветеринарной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, Областной ветеринарной лаборатории (г. Киров) и ООО «Агрофирма Мухино» Зуевского района Кировской области. Предметом исследования служил фитобиотик с условным названием Фитостимплюс, содержащий экстракт из растений: левзея сафлоровидная (*R. carthamoides*), серпуха венценосная (*S. coronata*), лабазник вязолистный (*F. ulmaria*) и лиофилизированную культуру молочнокислых микроорганизмов. Аналитическая часть работ с экстрактом трав проведена при содействии ООО «Продвинутые технологии» (г. Москва), в соответствии с договором о творческом сотрудничестве. Сбор трав осуществляли в Кирово-Чепецком районе Кировской области на территории частного земельного участка, где *R. carthamoides*, *S. coronata*, *F. Ulmaria* культивировались более 10 лет. Принцип получения экстракта из трав заключался в следующем: травы после дегидратации в термостате ТС-80М-2 при $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до 17-20 % влажности и измельчения на лабораторной мельнице (до размера не более 1 мм) экстрагировали 70%-ным водным этанолом (соотношение трава (г) : этанол (мл) = 1:30) в течение 14 суток. Затем экстракты из трав объединяли в равных объемах и сушили на цеолите в термошкафу СЭШ-3М при температуре $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ в течение суток. Идентификацию

экистероидов и флавоноидов в фитоэкстракте осуществляли на газовом хроматографе Dionex 3000. Подтверждение структуры исследуемых соединений, обнаруженных в экстракте, выполняли на масс-спектрометре TSQ Endura. Готовые лиофильно высушенные культуры пробиотических микроорганизмов *Lactobacillus ssp.* вносили в субстанцию, содержащую экстракт из трав.

В эксперименте продолжительностью 60 дней были задействованы телята молочного периода выращивания, подобранные по принципу аналогов. Животных распределили на 3 опытные (Фитостимплюс) и контрольную (интактную) группы по 5 голов в каждой. В течение 2-х часов после рождения всем новорожденным телятам выпаивали молозиво. В течение 2-х месяцев молоко выпаивали в объеме до 6 л на голову в сутки (3 л утром и 3 л вечером). Начиная с 3-дневного возраста, в рацион телят опытных и контрольной групп вводили вволю престартерный комбикорм КК-62/1, в котором содержались следующие ингредиенты: сырой протеин – 0,7 %; клетчатка – 7,0 %; кальций – 0,7 %; фосфор – 0,6 %. В данный комбикорм входили: шрот соевый, кукуруза, ячмень, пшеница, шрот рапсовый, витаминно-минеральный премикс, сахар, трикальций фосфат, сыворотка молочная подсырная, масло растительное, ароматизатор молочный. Обменная энергия комбикорма КК-62/1 – 10 МДж/кг. Готовый фитобиотик (порошкообразной консистенции), расфасованный в пластиковые контейнеры, после разведения в воде (из расчета 30 г на 300 мл) выпаивали телятам опытных групп, начиная с 3-дневного возраста, в дозах: в 1-ой – 10,0 мл/гол; во 2-ой – 20,0 мл/гол; в 3-ей – 30,0 мл/гол. В 10 мл разведенного продукта содержался 1 г Фитостимплюс. Таким образом, дозы чистого сухого продукта составляли в первой опытной группе – 1 г на голову; во второй опытной – 2 г на голову; в третьей опытной – 3 г на голову. В контрольной группе телят содержали по традиционной для хозяйства системе – без введения каких-либо добавок.

В течение эксперимента дважды (через 30 и 60 суток после начала опыта) исследовали кровь на биохимические показатели¹: общий белок, альбумины, аминотрансферазы (АЛТ, АСТ), мочевины, креатинин, глюкоза, кальций (Ca), фосфор (P). Для проведения анализов

¹Кондрахин 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.

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ/ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

использовалось следующее оборудование: рефрактометр Atago Rx-7000a и спектрофотометр В-1200 (ТМ ЭКОВЬЮ). Содержание общего белка определяли рефрактометрическим методом; альбуминов – фотоколориметрическим, аланинаминотрансфераза (АЛТ) и аспартатаминотрансфераза (АСТ) – унифицированным методом Райтмана-Френкеля; креатинин – с помощью набора Vital методом Яффе «по конечной точке» с депротенинизацией, мочевины – уреазным фенол-гипохлоритным методом, Са – с помощью набора Vital, колориметрическим методом с о-крезолфталеин-комплексом, Р – с молибдатным фотометрическим методом, глюкоза – глюкозоксидазным методом без депротенинизации. Учёт заболеваемости, прироста живой массы осуществляли

по данным наблюдений и взвешивания животных в начале опыта, через 30 и 60 дней. Математическая обработка данных проведена с помощью компьютерной программы Microsoft Office ASD EXE. Достоверность полученных результатов – в соответствии с t-критерием Стьюдента учитывалась при $P < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. После завершения химико-аналитической части работы с водно-спиртовым экстрактом из фитобиотика установили, что суммарная концентрация исследуемых экстрактивных веществ (флавоноиды, экдистероиды) в пересчете на сухой продукт составила 3,594 мг/г. Результаты анализа фитоэкстракта на наличие целевых БАВ (экдистероиды, флавоноиды) представлены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1– Содержание экдистероидов в фитоэкстракте Фитостимплус /
Table 1 – The content of ecdysteroids in Phytostimplus phytoextract

| № пробы / Sample number | Экдистероид / Ecdysteroid | Содержание, мг/мл / Content, mg/ml |
|--|--|---------------------------------------|
| 1 | Экдистен (20Е) / Ekdisten (20E) | 1,013 |
| 2 | Интегристерон А / Integristerone А | 0,122 |
| 3 | Инокостерон / Inocosterone | 0,233 |
| 4 | Экдизон / Ecdysone | 0,026 |
| 5 | 2-деокси-20-гидроксиэкдизон / 2-deoxy-20-hydroxyecdysone | 0,039 |
| 6 | Аюгастерон С / Ayugasterone С | 0,139 |
| 7 | Макистерон С / Makisteron S | 0,018 |
| Сумма экдистероидов / Amount of ecdysteroids | | 1,590 |

Таблица 2– Содержание флавоноидов в фитоэкстракте Фитостимплус /
Table 2 – The content of flavonoids in Phytostimplus phytoextract

| № пробы / Sample number | Флавоноиды / Flavonoids | Содержание, мг/мл / Content, mg/ml |
|---|---|---------------------------------------|
| 1 | Рутин / Rutin | 0,016 |
| 2 | Циннарозид (лютеолин-7-глюкозид) / Cinnaroside (luteolin-7-glucoside) | 0,006 |
| 3 | Изокверцитрин / Isoquercitrin | 0,013 |
| 4 | Апигенин-7-гексозид / Apigenin-7-hexoside | 0,005 |
| 5 | Кемпферол-гексозид / Kaempferol-hexoside | 0,015 |
| 6 | Кверцетин-гексозид / Quercetin Hexoside | 0,063 |
| 7 | Апигенин-7-глюкозид / Apigenin-7-glucoside | 0,010 |
| 8 | Кверцитрин / Quercitrin | 0,057 |
| 9 | Лютеолин / Luteolin | 0,861 |
| 10 | Кверцетин / Quercetin | 0,455 |
| 11 | Кверцетин-3-метилловый эфир / Quercetin-3-methyl ester | 0,158 |
| 12 | Апигенин / Apigenin | 0,209 |
| 13 | Кемпферол / Kaempferol | 0,136 |
| Сумма флавонолов, флавонов и их гликозидов / The sum of flavonols, flavones and their glycosides | | 2,004 |

Как видно из данных таблицы 1, основным экидстероидом, содержащимся в фитобиотике, являлся *экидстен (20E)*, концентрация которого составляет до 1,013 мг/мл, на суммарную долю интегристерона А, инокостерона, экидзона, 2-деокси-20-гидроксиэкидзона, аюгастерона С, макистерона С приходится 0,577 мг/мл, т. е. на *экидстен (20E)* приходится 63,7 %.

Суммарное содержание флавоноидов в фитобиотике составило 2,004 мг/мл, основными из которых отмечены лютеолин, с концентрацией 0,861 мг/мл, кверцетин – 0,455 мг/мл, апигенин – 0,209 мг/мл. В целом на долю флавоноидов в продукте приходилось 55,7 % от суммарного количества исследуемых БАВ. Концентрация молочнокислых бактерий в Фитостимплус после пересчета на 1 грамм продукта составила $4,0 \times 10^6$ КОЕ/г (4.000.000 живых микроорганизмов).

Потребление телятами корма и воды, поведенческие рефлексы находились в норме в период проведения опыта. Исследование биохимических показателей крови телят показало, что введение Фитостимплус в рацион животных не оказывало негативного влияния на исследуемые показатели (табл. 3 и 4.).

Из данных таблицы 3 видно, что через месяц после начала опыта показатель фосфора в крови телят во всех опытных (от $3,1 \pm 0,07$ до $3,4 \pm 0,02$ ммоль/л) и контрольной ($3,1 \pm 0,01$) группах превышал референсные значения на 6,9-17,2 %. Показатель глюкозы в крови телят опытной и контрольной групп на 3,9-28,2 % был выше нормы (от $4,9 \pm 0,3$ до $5,9 \pm 0,4$ ммоль/л). Данные отклонения по фосфору специалисты в хозяйстве связывали с составом престартерного комбикорма и интенсивным выпаиванием молока в первый месяц жизни телят. Остальные исследуемые показатели в группах находились в пределах физиологической нормы.

Через 2 месяца после начала опыта показатель фосфора в опытных (от $2,7 \pm 0,22$ до $2,8 \pm 0,07$ ммоль/л) и контрольной ($2,6 \pm 0,01$) группах приходил в норму. Показатели АЛТ и АСТ в опытной и контрольной группах находились в пределах референсных значений. АЛТ в опытных группах (от $13,4 \pm 1,6$ до $19,9 \pm 2,2$ ед./л) был ниже контрольного результата на 50,3-26,8 %, а АСТ (от $56,3 \pm 3,2$ до $63,3 \pm 4,8$ ед./л) на 31,2-19,2 %. Аминотрансферазы являются индикаторными ферментами, свидетельствующими о работе сердца и печени. Повышение активности АСТ выше нормы

характерно при нарушениях функции миокарда, а повышение АЛТ указывает на нарушение функционального состояния печени. Полученные результаты показывают, что активность ферментов переаминирования у телят находится в пределах физиологической нормы. Глюкоза превышала референсные значения в опытных и контрольной группах на 15,0-28,2 % (от $5,3 \pm 0,2$ до $6,2 \pm 0,2$ ммоль/л). Аналогичный результат отмечен и другими исследователями в опытах на телятах-молочниках. Повышение концентрации глюкозы в крови телят молочного периода жизни объясняется авторами исследований особенностями процесса пищеварения в преджелудках в первые месяцы жизни. Как отмечают А. К. Джавадов, Е. Ю. Дармограй [15], к 6-месячному возрасту уровень глюкозы в крови телят нормализуется. Биохимические показатели крови телят в опытных и контрольной группах, характеризующие белковый метаболизм и функциональное состояние почек, находились в пределах физиологической нормы: общий белок (от $62,0 \pm 0,1$ до $65,0 \pm 0,1$ г/л), альбумины (от $39,3 \pm 1,4$ до $41,5 \pm 2,4$ г/л), креатинин (от $64,8 \pm 3,5$ до $72,8 \pm 6,6$ мкмоль/л), мочевины (от $2,7 \pm 0,16$ до $3,6 \pm 0,3$ ммоль/л). Исследование влияния Фитостимплус на заболеваемость и сохранность телят показало, что заболеваемость в первой опытной группе и контроле составила – 80 %, во 2-ой и 3-ей опытных – 60 и 40 % соответственно. Врачами хозяйства диагностировался диарейный синдром, который купировали применением сенного отвара и внутривенным введением раствора Рингера-Локка, в случае необходимости вводили стрептомицин сульфат внутримышечно. Методы терапии были идентичными для телят во всех группах. Заболевание у большей части телят протекало в легкой и средней степени тяжести. Продолжительность лечения составляла от 5 до 8 суток. К окончанию опыта в 1-ой и контрольной группах число здоровых животных составило 80 %, во 2-ой и 3-ей – 100 % (в среднем по опытным группам 93,3 %). Сохранность телят в опытных и контрольной группах – 100 %. Более низкую заболеваемость телят в опытных группах, в сравнении с контролем, можно объяснить действием на их организм БАВ растений и пробиотических микроорганизмов (лактобактерий), присутствующих в фитобиотике.

Таблица 3 – Анализ крови телят через 30 суток после применения Фитостимплус (n = 5 в группе, M±m) /
Table 3 – Blood analysis of calves 30 days after the application of Phytostimplus (n = 5 per group, M±m)

| № группы / Group number | Доза, г/гол / Dose, g/head | Общий белок, г/л / Total protein, g/l | Альбумин, г/л / Albumin, g/l | Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l | Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l | Глюкоза ммоль/л / Glucose, mmol/l | АЛТ, ед./л / ALT, unit/l | АСТ, ед./л / AST, unit/l | Са, ммоль/л / Ca, mmol/l | P, ммоль/л / P, mmol/l |
|---|----------------------------------|---|---------------------------------|--|--|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,0 | 61±0,1 | 48,9±4,2 | 3,4±0,07 | 58,6±3,1 | 4,9±0,3 | 8,1±1,1 | 38,9±1,9 | 2,9±0,05 | 3,4±0,02 |
| 2 | 2,0 | 62±0,2 | 56±3,1 | 3,4±0,4 | 62,2±3,4 | 5,8±0,3 | 8,8±1,4 | 43,5±3,9 | 3,0±0,06 | 3,2±0,08 |
| 3 | 3,0 | 60±0,2 | 56,6±2,9 | 3,1±0,4 | 64,5±4,9 | 5,3±0,3 | 10±0,7 | 48,3±4,4 | 3,0±0,04 | 3,1±0,07 |
| Контроль / Control | - | 63±0,2 | 54,9±4,4 | 3,5±0,2 | 62,1±2,9 | 5,9±0,4 | 8,5±1,2 | 51,7±3,1 | 3,0±0,06 | 3,1±0,01 |
| Референсные значения ² / Reference values | | 62-78 | 30-50 | 3,3-6,7 | 39,6-157 | 2,8-4,6 | 6,9-35,5 | 48-110 | 2,5-3,3 | 1,4-2,9 |

Примечание: P > 0,05 – при сравнении результатов в опытных группах с контролем / Note: P < 0,05 – it is significant in comparison with the control

Таблица 4 – Анализ крови телят через 60 суток после применения Фитостимплус (n = 5 в группе, M±m) /
Table 4 – Blood analysis of calves 60 days after the application of Phytostimplus (n = 5 per group, M±m)

| № группы / Group number | Доза, г/гол / Dose, g/head | Общий белок, г/л / Total protein, g/l | Альбумин, г/л / Albumin, g/l | Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l | Креатинин, мкмоль/л / Creatinine, μmol/l | Глюкоза ммоль/л / Glucose, mmol/l | АЛТ, ед./л / ALT, unit/l | АСТ, ед./л / AST, unit/l | Са, ммоль/л / Ca, mmol/l | P, ммоль/л / P, mmol/l |
|---|----------------------------------|---|---------------------------------|--|--|---|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|---------------------------|
| 1 | 1,0 | 65±0,1 | 39,3±1,4 | 3,1±0,3 | 64,8±3,5 | 5,8±0,1 | 13,4±1,6* | 56,3±3,2* | 2,7±0,03 | 2,7±0,22 |
| 2 | 2,0 | 62±0,1 | 41,5±2,4 | 2,7±0,16 | 70,8±2,05 | 6,2±0,2 | 19,8±1,0* | 53,8±3,0* | 3,2±0,08 | 2,8±0,07 |
| 3 | 3,0 | 66±0,1 | 40,4±2,1 | 3,6±0,3 | 72,8±6,6 | 5,9±0,1 | 19,9±2,2 | 63,3±4,8 | 2,8±0,10 | 2,8±0,20 |
| Контроль / Control | - | 69±0,2 | 40,1±2,6 | 3,2±0,6 | 87,3±2,16 | 5,3±0,2 | 27,2±3,1 | 78,3±5,1 | 2,8±0,08 | 2,6±0,01 |
| Референсные значения ² / Reference values | | 62-78 | 30-50 | 3,3-6,7 | 39,6-157 | 2,8-4,6 | 6,9-35,5 | 48-110 | 2,5-3,3 | 1,4-2,9 |

* При P < 0,05 достоверно в сравнении с контролем / * At P < 0,05 it is significant in comparison with the control

²Шестакова А. М., Сапожников А. Ф., Бараксина Ж. В. Клиническая оценка результатов лабораторных исследований в ветеринарной практике. Киров, 2009. 75 с.
³Там же.

Исследовано влияние различных доз фитобиотика на показатель прироста живой массы телят-молочников, данные представлены в таблице 5.

Таблица 5 – Влияние фитобиотика Фитостимплюс на прирост живой массы телят (n = 5 в группе, M±m) / Table 5 - The effect of the phytobiotic Phytostimplus on the increase in live weight of calves (n = 5 per group, M±m)

| № группы / Group number | Доза, г/гол. / Dose, g/head. | Живая масса, кг / Live weight, kg | Среднесуточный прирост, кг / Average daily gain, kg | |
|---|------------------------------|-----------------------------------|---|-------------------------------------|
| | | | между циклами опыта / between cycles of experiment | за весь цикл / for the entire cycle |
| Начало опыта / Beginning of the experiment | | | | |
| 1 опытная / 1 experiment | 1,0 | 44,5±1,5 | - | - |
| 2 опытная / 2 experiment | 2,0 | 45,3±1,4 | - | - |
| 3 опытная / 3 experiment | 3,0 | 45,2±1,8 | - | - |
| Контроль / Control | - | 40,7±1,7 | - | - |
| Через 30 суток после начала опыта / 30 days after the start of the experiment | | | | |
| 1 опытная / 1 experiment | 1,0 | 58,2±1,7 | 0,456±0,05 | - |
| 2 опытная / 2 experiment | 2,0 | 66,5±3,4* | 0,706±0,06* | - |
| 3 опытная / 3 experiment | 3,0 | 62,5±3,5* | 0,576±0,04 | - |
| Контроль / Control | - | 57,2±4,9 | 0,550±0,04 | - |
| Через 60 суток после начала опыта / 60 days after the start of the experiment | | | | |
| 1 опытная / 1 experiment | 1,0 | 90±3,9 | 1,060±0,05* | 0,758±0,05 |
| 2 опытная / 2 experiment | 2,0 | 100±4,5* | 1,116±0,04* | 0,911±0,07* |
| 3 опытная / 3 experiment | 3,0 | 95,8±3,1* | 1,110±0,06* | 0,843±0,06* |
| Контроль / Control | - | 83,5±5,8 | 0,876±0,09 | 0,713±0,07 |

* P<0,05 в сравнении результатов опытных и контрольной групп в отдельном цикле опыта /

* At P<0.05 it is significant in comparison with the control in separate cycles of the experiment

Из данных таблицы 5 следует, что результаты взвешивания телят через 30 дней после начала опыта зафиксировали достоверную разницу (P<0,05) среднесуточных привесов между второй опытной группой и контролем, однако в первой и третьей группах полученные данные не имели достоверной разницы с контролем (P>0,05), что объясняется влиянием на организм части животных диарейного синдрома.

К окончанию эксперимента среднесуточный прирост массы телят во всех трех опытных группах превзошел таковой в контроле. В первой группе на 6,3 %, во второй группе – на 27,7 %, в третьей – на 18,2 %. Таким образом, наиболее эффективные дозы разведенного в молоке Фитостимплюс телятам соответствовали 20-30 мл на голову в сутки,

что в пересчете на основную субстанцию фитобиотика равнялось 2-3 г на голову в сутки.

Увеличение прироста живой массы тела телят опытных групп, в сравнении с контролем, можно объяснить содержанием в Фитостимплюс экидистероида – экидистена (20E). На анаболическую активность экидистена указывает ряд ученых, при этом дозы экидистероидов, вызывающие анаболический эффект, варьируют – от низких 0,020-0,035 мг/кг – до высоких 5-20 мг/кг⁴ [16].

Заключение. Анализ фитобиотика Фитостимплюс на наличие БАВ показал, что концентрация исследуемых экстрактивных веществ (флавоноиды, экидистероиды) составила 3,594 мг/г. Основным из экидистероидов определили экидистен (20E), а из флавоноидов – лютеолин, кверцетин, апигенин.

⁴Тимофеев Н. П., Ивановский А. А. Анаболический эффект малых доз препаратов рапонтика. Международное совещание по фитоэкидистероидам. Сыктывкар: Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 1996. С. 132-133. URL: https://leuzea.ru/sciens/7-timofeev_anabolic_effect_low_doses-rapontik.pdf

ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ/ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

Концентрация молочнокислых микроорганизмов в Фитостимплюс составила 4×10^6 КОЕ/г. Фитостимплюс не вызывал отрицательного влияния на биохимические показатели крови телят и гомеостаз, сохранность составила 100 %. К окончанию эксперимента среднесуточный прирост живой массы телят в опытных группах превзошел таковой в контроле на

6,3-27,7 %. Лучший показатель среднесуточного прироста живой массы телят получили во 2-ой – $0,911 \pm 0,07$ кг и в 3-ей – $0,843 \pm 0,06$ кг опытных группах, в контроле – $0,713 \pm 0,07$ кг. Установлены эффективные дозы Фитостимплюс для телят молочного периода выращивания, которые в пересчете на основную субстанцию соответствовали 2-3 г/голову в сутки.

Список литературы

1. Brown A. C. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety, and government regulation in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. Food and Chemical Toxicology. 2017;107(A):449-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.001>
2. Тимофеев Н. П. Фитобиотики в мировой практике: виды растений и действующие вещества, эффективность и ограничения, перспективы (обзор). Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021;22(6):804-825. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.804-825> EDN: SZRHZL
3. Brown A. C. Cancer Related to Herbs and Dietary Supplements: Online Table of Case Reports. Part 5 of 5. Journal of Dietary Supplements. 2018;15(4):556-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1355865>
4. Ćabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro / in vivo mechanisms of action. Feed Additives. 2020. Ch.5. pp 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
5. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. EFSA Journal. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>
6. Багно О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. Н., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных (обзор). Сельскохозяйственная биология. 2018;53(4):687-697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus> EDN: UZBLPC
7. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. Feed Additives. 2020. Ch. 15. pp 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
8. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. Feed Additives. 2020. Ch. 11. pp. 187-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
9. Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Применение Фитодобавки лактирующим коровам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022;23(2):255-262. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262> EDN: HFOSGY
10. Jin L. Z., Dersjant-Li Y., Giannenas I. Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. Feed Additives. 2020. Ch. 10. pp. 159-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8>
11. Сисягина Е. П., Сисягин П. Н., Реджепова Г. Р., Убитина О. В. Влияние фитопрепаратов на иммунобиологические параметры телят в постпрофилактический период выращивания. Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2015;(12):13-17.
12. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Distribution of aromatic plants in the world and their properties. Feed Additives. 2020. Ch. 6. pp. 89-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
13. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. Archives of Toxicology. 2021;(95):673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
14. Dinan L., Diou 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>
15. Джавадов А. К., Дармограй Е. Ю. Содержание витамина С и глюкозы в крови телят при включении в их рационы разных доз аскорбиновой кислоты и сахара. Вестник ОрелГАУ. 2007;(1):14-16. DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12989845> EDN: KYGRMF
16. Тодоров И. Н., Митрохин Ю. И., Ефремова О. И., Сидоренко Л. И. Влияние экдистерона на биосинтез белков и нуклеиновых кислот в органах мышей. Химико-фармацевтический журнал. 2000;34(9):3-5.

References

1. Brown A. C. An overview of herb and dietary supplement efficacy, safety, and government regulation in the United States with suggested improvements. Part 1 of 5 series. Food and Chemical Toxicology. 2017;107(A):449-471. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fct.2016.11.001>
2. Timofeev N. P. Phytobiotics in world practice: plant species and active substances, efficiency and limitations, perspectives (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2021;22(6):804-825. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2021.22.6.804-825>

3. Brown A. C. Cancer Related to Herbs and Dietary Supplements: Online Table of Case Reports. Part 5 of 5. *Journal of Dietary Supplements*. 2018;15(4):556-581. DOI: <https://doi.org/10.1080/19390211.2017.1355865>
4. Čabarkapa I., Puvača N., Popović S., Čolović D., Kostadinović L., Tatham E. K., Lević J. Aromatic plants and their extracts pharmacokinetics and in vitro / in vivo mechanisms of action. *Feed Additives*. 2020. Ch.5. pp 75-88. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00005-4>
5. Compendium of botanicals reported to contain naturally occurring substances of possible concern for human health when used in food and food supplements. *EFSA Journal*. 2012;10(5):2663. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2012.2663>
6. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. N., Dyadichkina T. V. Use of phyto-biotics in farm animal feeding. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2018;53(4):687-697. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus>
7. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. *Feed Additives*. 2020. Ch. 15. pp 261-277. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
8. Harrington D., Hall H., Wilde D., Wakeman W. Application of aromatic plants and their extracts in the diets of laying hens. *Feed Additives*. 2020. Ch. 11. pp. 187-203. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00011-X>
9. Ivanovsky A. A., Latushkina N. A. The use of Phytoadditive in lactating cows. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2022;23(2):255-262. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.2.255-262>
10. Jin L. Z., Dersjant-Li Y., Giannenas I. Application of aromatic plants and their extracts in diets of broiler chickens. *Feed Additives*. 2020. Ch. 10. pp. 159-185. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00010-8>
11. Sisyagina E. P., Sisyagin P. N., Redzhepova G. R., Ubitina O. V. The influence of herbal drugs on immunological parameters of calves in post prophylactic period of rearing. *Veterinariya sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh*. 2015;(12):13-17. (In Russ.).
12. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*. 2020. Ch. 6. pp. 89-114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
13. Lanzerstorfer P., Sandner G., Pitsch J., Mascher B., Aumiller T., Weghuber J. Acute, reproductive, and developmental toxicity of essential oils assessed with alternative in vitro and in vivo systems. *Archives of Toxicology*. 2021;(95):673-691. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00204-020-02945-6>
14. Dinan L., Dìoh 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>
15. Dzhavadov A. K., Darmogray E. Yu. The content of vitamin C and glucose in the blood of calves when different doses of ascorbic acid and sugar are included in their diets. *Vestnik OrelGAU = Vestnik OrelGAU*. 2007;(1):14-16. (In Russ.). DOI: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=12989845>
16. Todorov I. N., Mitrokhin Yu. I., Efremova O. I., Sidorenko L. I. The effect of ecdysterone on the biosynthesis of proteins and nucleic acids in the organs of mice. *Khimiko-farmatsevticheskiy zhurnal = Pharmaceutical Chemistry Journal*. 2000;34(9):3-5. (In Russ.).

Сведения об авторах

✉ **Ивановский Александр Александрович**, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией ветбиотехнологии, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2984-7219>, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

Латушкина Наталья Александровна, кандидат вет. наук, старший научный сотрудник лаборатории ветбиотехнологии, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2208-5175>

Information about the authors

✉ **Alexander A. Ivanovsky**, DSc in Veterinary, leading researcher, Head of the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: priemnaya@fanc-sv.ru, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2984-7219>, e-mail: ivanovskii.1956@mail.ru

Natalya A. Latushkina, PhD in Veterinary, senior researcher, the Laboratory of Veterinary Biotechnology, 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/0000-0003-2208-5175>

✉ – Для контактов / Corresponding author



Патогенетические закономерности развития респираторных и гастроинтестинальных патологий у телят с предшествовавшей дисфункцией преджелудков в анамнезе

© 2023. О. С. Попова¹✉, Ю. Н. Алехин², П. А. Паршин², Л. В. Лядова², А. Ю. Лебедева²

¹ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация,

²ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии», г. Воронеж, Российская Федерация

В условиях агропромышленного комплекса, специализирующегося на интенсивном откорме молодняка крупного рогатого скота, был проведен опыт по изучению закономерностей развития респираторных и гастроинтестинальных патологий у телят с предшествовавшей дисфункцией преджелудков в анамнезе. Объектом исследований служили телята в возрасте 120 суток, которых распределили на три группы: контрольная и две подопытные, которым в рацион добавляли фитосорбент. В рацион входили сено злаковое и комбикорма (СП 21,5 %) согласно нормам и режиму кормления для животных данного возраста. Выявлено, что сокращение периода приучения телят к потреблению большого количества концентратов, оказало негативное влияние на сократительную функцию рубца и процессы пищеварения в его полости с формированием комплекса симптомов пенистой тимпани и ацидоза рубца. После курса соответствующего лечения специфические признаки указанных патологий рубца исчезли, но сохранился дисбаланс между депрессией симбионтного и активацией полостного пищеварения с формированием постоянного предпорогового уровня локальной аутоинтоксикации. Перевод животных на технологический рацион активизировал процессы метаболизма в рубце и усиления биохимического дисбаланса, что стало причиной прогрессирования синдрома эндогенной интоксикации и вегетативной дистонии с соответствующим увеличением риска развития респираторных и гастроинтестинальных патологий. Применение комбинированного нативного премикса на основе энтеросорбента на фоне остаточных патологических явлений после дисфункций преджелудков снизило уровень токсических веществ в рубце, что исключило генерализацию аутоинтоксикации при повышении функциональной нагрузки на органы пищеварения. В результате был нивелирован механизм формирования патогенетической интеграции (предрасположенности) в организме, что стало причиной снижения уровня заболеваемости животных в 6,7 раза и на 22,9 % активизации их роста.

Ключевые слова: рубец, пневмонии, энтеросорбент, эндогенная интоксикация

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: Попова О. С., Алехин Ю. Н., Паршин П. А., Лядова Л. В., Лебедева А. Ю. Патогенетические закономерности развития респираторных и гастроинтестинальных патологий у телят с предшествовавшей дисфункцией преджелудков в анамнезе. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(3):487-497.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.487-497>

Поступила: 02.02.2023 Принята к публикации: 05.06.2023 Опубликовано онлайн: 28.06.2023

Pathogenetic development patterns of respiratory and gastrointestinal pathologies in calves with proventriculus dysfunction history

© 2023. Olga S. Popova¹✉, Yuri N. Alekhin², Pavel A. Parshin², Lyudmila V. Lyadova², Anastasia Yu. Lebedeva²

¹Saint Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russian Federation,

²All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Voronezh, Russian Federation

An experiment was conducted in the conditions of an industrial complex specializing in the intensive fattening of young cattle, to study the development patterns of respiratory and gastrointestinal pathologies in calves with a history of previous proventriculus dysfunction. The object of the research were calves aged 120 days, which were divided into three groups: control, and two experimental groups - with a difference in using or the absence of phytosorbent. The diet included cereal hay and compound feed (CP 21.5%) according to the norms and regimen of feeding, for animals of this age. It appeared that for calves shortening of the adaptation period to the consumption of a large amount of compound feed had a negative impact on the rumen contractile function and the processes of digestion in it with the formation of a complex of symptoms of frothy tympany and rumen acidosis. After a course of appropriate treatment, the specific symptoms of these pathologies of the rumen disappeared, but the imbalance between the depression of symbiotic and activation of abdominal

digestion remained, with the formation of a constant pre-threshold level of local autointoxication. The transfer of animals to the technological diet activated the processes of rumen metabolism and increased biochemical imbalance, which caused the progression of the endogenous intoxication syndrome and vegetative dystonia with a corresponding increase in the risk of developing respiratory and gastrointestinal pathologies. The use of a combined native premix based on the enterosorbent Rigatirin against the background of residual pathological phenomena after proventriculus dysfunctions reduced the level of toxic substances in the rumen, which excluded the generalization of autointoxication with an increase in the functional load on the digestive organs. As a result, the mechanism of pathogenetic integration (predisposition) formation in the body was leveled with a corresponding decrease in the incidence of the lungs, rumen and intestines. As a result, the mechanism of pathogenetic integration (predisposition) formation in the body was leveled, which caused a 6.7-fold decrease in the level of morbidity in animals and a 22.9 % increase in their growth.

Keywords: rumen, pneumonia, enterosorbent, endogenous intoxication

Acknowledgements: the work was carried out 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 declare no conflict of interest.

For citation: Popova O. S., Alekhin Yu. N., Parshin P. A., Lyadova L. V., Lebedeva A. Yu. Pathogenetic patterns of the development of respiratory and gastrointestinal pathologies in calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):487-497. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.487-497>

Received: 02.02.2023

Accepted for publication: 05.06.2023

Published online: 28.06.2023

Скотоводство является одной из важнейших отраслей сельского хозяйства, обеспечивающей население уникальным по своему составу мясом. Согласно современным источникам литературы [1, 2, 3], уровень производства и потребления говядины в мире в период с 2016 по 2020 год увеличился на 5,0 %, что составляет 30,8 % в структуре ресурсов получения мяса. В Российской Федерации, несмотря на рост производства, дефицит потребления говядины сохраняется и в 2020 году, что составляет 18,5 % [1]. Одним из факторов, лимитирующих развитие мясной отрасли, а также эффективность государственных и частных инвестиций, на сегодняшний день является здоровье животных. К числу наиболее распространённых и экономически значимых заболеваний среди молодняка КРС относятся болезни органов дыхания и желудочно-кишечного тракта [2, 3]. Проблеме заболеваний молодняка посвящено большое количество исследований. Однако, несмотря на многочисленные успехи в изучении их этиологии и патогенеза, а также расширение спектра средств борьбы с ними, многие авторы отмечают, что на протяжении последних десятилетий уровень заболеваемости и эффективности терапии существенно не изменился, а на фоне интенсификации животноводства ожидается прогрессирование данной проблемы [4, 5]. Очевидна необходимость поиска новых креативных путей её решения. Известно, что у животных, перенёвших заболевания органов пищеварения, повышается риск возникновения респираторной патологии [6]. Однако, после перенесенного заболевания, в период выздоровления, исчезают клинические симптомы основной болезни, снижается

выраженность обменных и иммунных нарушений, причина возникновения которой остается невыясненной, так как грань между коморбидной патологией и новым заболеванием стирается. Изучив механизмы патогенетической предрасположенности, появится возможность их нивелирования и снижения общей заболеваемости.

Очевидно, что вероятность актуализации патологических остаточных явлений увеличится на фоне стрессовой ситуации или функциональной перегрузки организма, в том числе и технологического происхождения. Известно, что при интенсивном доращивании и откорме молодняка крупного рогатого скота использование концентратов в качестве базовых кормов (полноценных комбикормов) в период приучения их к свободному потреблению возрастает заболеваемость и риск гибели животных [7, 8]. При этом увеличивается частота случаев поражения не только органов пищеварения, на которые возрастает функциональная нагрузка, но и респираторного тракта.

Цель исследований – изучить наличие и механизмы формирования предрасположенности к развитию респираторных и гастроинтестинальных заболеваний у телят, перенёвших патологию преджелудков на фоне белкового перекорма в период приучения животных к потреблению большого количества концентратов.

Научная новизна – получены новые знания о патогенетических закономерностях развития респираторных и гастроинтестинальных патологий у телят с предшествовавшей дисфункцией преджелудков в анамнезе, выявлены механизмы формирования патогенетической межорганной интеграции, инициированной хроническим субклиническим эндотоксикозом.

Материал и методы. В период с 15 января по 25 мая 2022 года в условиях крупной молочной фермы сельхозпредприятия «Смена» Псковской области был проведен опыт, объектом исследований которого служили телята черно-пестрой породы в возрасте 2,0-5,5 месяца. В соответствии с принятой технологией телята в течение первых 60 дней жизни содержались в индивидуальных клетках, их рацион состоял из цельного молока (6 л) и комбикорма (СП 22,5 %, прогрессирующая дача от 0,1 до 1,0 кг/сут). В возрасте от 2 до 4 месяцев животные находились в типовом помещении, в групповых клетках по 8 голов в каждой. В течение суток телята имели свободный доступ к воде, сено злаковое и комбикорм (СП 22,0 %) им задавали в нарастающем количестве соответственно от 0,1 до 1,8 кг и от 1,0 до 2,9 кг. В возрасте 4 месяцев животных переводили в крупногрупповые клетки (20 гол.), в которых имели свободный доступ к воде и селу, комбикорм (СП 21,5 %) получали в течение двух недель фиксированное (3,0 кг), а затем неограниченное количество (по поедаемости).

Столь активное кормление является основой интенсивного откорма молодняка крупного рогатого скота и позволяет в возрасте 16-17 месяцев достигать 570-580 кг живой массы. Как было отмечено, важным компонентом данной технологии является приучение животных к потреблению больших объёмов концентратов, что в основном достигается в период контролируемой их дачи, т. е. в возрасте от 60 до 134 дней.

Для проведения эксперимента были отобраны 90 клинически здоровых телят в возрасте 120-134 суток, которые были переведены в крупногрупповые клетки, их рацион состоял из сена злакового и комбикорма (СП 21,5 %). Из числа этих животных сформировали три группы по 30 голов в каждой:

- №1 (контроль) – телята имели свободный доступ к воде и селу, но комбикорм получали в течение двух недель фиксированное (3,0 кг), а затем неограниченное количество (кормушки-бункеры), т. е. период приучения длился 74 дня (60-134 сут);

- №2 и №3 – животные после их перевода в крупногрупповые клетки имели свободный доступ к воде, селу и концентратам – период

приучения составил 60 дней (60-120 сут). Помимо этого, молодняку из группы №3 с 14 по 28 день опыта с кормом задавали фитосорбент в дозе 0,1 г/кг (ФГБОУ ВО СПбГУВМ), который представляет собой комбинацию сорбентов и лекарственных растений, обладающих нормализующим действием на процессы пищеварения в желудочно-кишечном тракте [9, 10].

День перевода телят в крупногрупповые клетки считается первым днём опыта, который длился 42 дня. В течение этого периода животные находились под постоянным наблюдением, на 1, 7, 14, 28 и 42 день проводили более детальное обследование – отбирали по 6 телят из каждой группы и брали пробы крови и содержимого рубца.

Клинико-инструментальное обследование животных выполняли общепринятыми методами. Определяли температуру тела, частоту дыхания (ЧДД), сокращений сердца (ЧСС) и рубца. Интегральную оценку состояния вегетативной нервной системы проводили на основании уровня индекса Хильдебранда¹.

Биохимический анализ крови проводили с использованием унифицированных биохимических методов, выбор показателей был ориентирован на оценку наличия и степень выраженности синдрома эндогенной интоксикации. Пробы крови отбирали из яремной вены в вакуумные пробирки IMPROVACUTER с антикоагулянтом (К₃ЭДТА) для сохранения её интактного состояния и с активатором свёртывания (SiO₂) для получения сыворотки (Guangzhou Improve Medical Instruments CO, LTD, Китай).

В содержимом рубца и сыворотке крови определяли уровень молекул средней массы (МСМ), который является интегральным показателем эндогенной интоксикации. С помощью спектрофотометра (Shimadzu UV-1700) на длине волны 237 нм изучали содержание фракции МСМ, преимущественно состоящую из токсических продуктов жизнедеятельности микроорганизмов и нарушенных процессов полостного пищеварения, образующихся в полостях организма. На длине волны 254 нм оценивали концентрацию фракции МСМ, включающую в себя токсические метаболиты, появляющиеся при нарушении обмена веществ, функций печени и почек².

¹Вейн А. М., Вознесенская Т. Г., Воробьева О. В. Вегетативные расстройства: клиника, диагностика, лечение. М.: Медицинское информационное агентство, 2003. С. 68.

²Алехин Ю. Н. Эндогенные интоксикации у животных и их диагностика: методические рекомендации. Воронеж: ГНУ ВНИВИПФиТ, 2000. 12 с.

Пробы рубцового содержимого отбирали вакуумным методом с помощью пищеводного зонда за 1 час до утреннего кормления с последующей оценкой органолептических показателей, содержания молекул «средней» массы (МСМ) [11], инфузорий и бактерий (камера Горяева) [8]. Используя анализатор «Эксперт-001» (Россия), определяли окислительно-восстановительный потенциал (ОВП, редокс-электрод ЭРП-101) и рН (электрод ЭСК010605), которые фиксировали после 20-минутного периода стабилизации [12]. Протеолитическую активность протеолитических ферментов изучали по интенсивности метаболизма казеина³.

Математико-статистическую обработку полученных данных проводили с использованием программы Statistica v6.1. Рассчитали среднюю арифметическую и её ошибку ($M \pm m$), а также достоверность различий между выборками (группами наблюдений) по критерию Стьюдента (Р).

Результаты и их обсуждение. В течение всего опыта не было отмечено существенных изменений клинического состояния телят из группы контроля, они были здоровыми и отсутствовали случаи их выбытия. В то время, как у всех телят из групп №2 и №3 на 5-6 день опыта было отмечено ослабление аппетита, увеличение громкости звуков при аускультации брюшной стенки в области проекции рубца, количества его сокращений (№1 – $2,8 \pm 0,25$, №2 и №3 – $3,5 \pm 0,15/2$ мин) и жвачных движений за один цикл жвачки ($55,0 \pm 2,50$ и $76,2 \pm 1,80$). На 7 день у этих животных усилилась выраженность депрессии аппетита, отмечена нестабильность дефекации с чередованием запоров и поносов, учащение частоты дыхания и пульса, повышение слюноотделения, сократительной активности рубца и изменение состава его содержимого (табл. 1). У 8 телят отмеченные явления были более выражены, на 6 день помимо них имело место общее угнетение, шаткая походка, тремор мышц конечностей, напряжение и болезненность стенки брюшной полости. На 7-8 день наблюдения у этих животных появилась одышка, цианоз видимых слизистых оболочек, увеличение в объёме живота с выпячиванием левой голодной ямки и притуплённым тимпаническим звуком при перкуссии брюшной стенки в области проекции рубца, в полости которого выявлено скопление не газов, а пенистого содержимого.

Таким образом, в конце первой недели опыта у телят из групп №2 и №3 возник умеренно выраженный (подострый) ацидоз рубца, но у 13,3 % животных помимо этого констатировали острую пенистую тимпанию. Больным с диагнозом пенистая тимпания провели комплекс терапии, включающий введение внутрь препарата ФАМС (0,06 мл/кг), подкожно раствор кофеин-бензоат натрия (20 %, 0,02 мл/кг). Все телята из групп №2 и №3 в течение 8-го дня эксперимента были переведены на полуголодную диету: исключили из рациона комбикорм, но обеспечили свободный доступ к воде и сену. С целью уменьшения количества бактерий, образующих молочную кислоту, и риска образования абсцессов в печени внутрь однократно задавали тетрациклин гидрохлорид (10 мг/кг). С 9 по 14 день они получали комбикорм (СП 21,5 %) в нарастающем количестве от 2,0 до 2,5 кг в сутки. Дополнительно, на 9 день опыта с кормом им задавали бикарбонат натрия в суточной дозе 0,25 г/кг, а в последующие пять дней по 0,1 г/кг магния окиси [13]. Клиническое обследование телят из групп №2 и №3 показало, что на 14 день опыта у большинства (96,7 %) животных проведённый курс лечения нивелировал симптомы патологии преджелудков (табл. 1 и 2), и они были признаны клинически здоровыми. Тем не менее, молодняку из группы №3 с 14 по 28 день опыта в корм добавляли фитосорбент.

В группах №2 и №3, помимо случаев дисфункций рубца, на 3 день наблюдения соответственно у 5 и 7 животных появились симптомы патологии кишечника: жидкий кал светло- и тёмно-коричневого цвета. Выраженность симптомов поражения кишечника усиливалась до 6-8 дня, затем наблюдали их «затухание» до полного исчезновения на 10-14 день опыта. На 32-35 день у 16 телят из группы №2 появились симптомы поражения органов дыхания: учащение ЧДД, одышка, кашель влажный приступообразный, слизисто-гнойные выделения из носа, разнокалиберные хрипы при аускультации по всей проекции лёгких. Из числа этих животных у 4 телят были выявлены признаки патологии желудочно-кишечного тракта: ослабление аппетита, уменьшение количества сокращений рубца (№1 - $2,7 \pm 0,08$, №2 - $1,5 \pm 0,15/2$ мин), увеличение числа жвачных движений за один цикл жвачки ($55,0 \pm 2,00$ и $86,0 \pm 2,30$), нестабильная дефекация с чередованием запоров и поносов, увеличение кислотности

³Галочкин В. А., Газдаров В. М. Методы анализа пищеварительных ферментов: методические указания. Боровск, 1987. 44 с.

содержимого рубца (№1 – 6,45±0,15, №2 – 5,50±0,25). У телят из группы №3 симптомы респираторных заболеваний были отмечены у 3 животных на 31 и 33 день опыта, но у них отсутствовали признаки поражения желудочно-кишечного тракта.

Как было отмечено, в контроле отсутствовали случаи гибели животных, но в группе №2 на 7 день и в период с 32 по 38 день опыта погибло соответственно 1 и 7 голов. Результаты патологоанатомического вскрытия телёнка, павшего на 7 день эксперимента, дают основание для констатации у него острой пенной тимпании рубца, на что указывает увеличение размеров брюшной области, печень не увеличена (но у некоторых – уменьшена), твердой консистенции бледно-серого цвета с полузапавшими кровеносными сосудами. Стенка рубца и частично сетки напряжена и анемична, а при разрезе с шумом выделяется пена серого цвета и кислого запаха. Содержимое тонкого кишечника имеет полужидкую консистенцию и состоит из газа и бродящих кормовых масс. Объём грудной полости уменьшен за счёт смещения в неё купола диафрагмы. Легкие тёмно-красного цвета с бледно-синеватым оттенком, при их пальпации на поверхности остаются углубления, а на разрезе выделяется кровянистая пенная жидкость. Выражена асимметрия сердца с увеличением правой его

части за счет дилатации предсердия и гипертрофии желудочка. Коронарные сосуды заполнены кровью и по их ходу большое количество точечных кровоизлияний.

У павших животных в период с 32 по 38 день выявлены патологоанатомические изменения, характерные для бронхопневмонии (поверхность лёгких бугристая с наличием увеличенных в объёме участков плотной консистенции тёмно-красного цвета и выделением на их разрезе красно-пенистой жидкости), токсической дистрофии печени (увеличена в объёме, края притуплены, мягкой консистенции, пестрая окраска с чередованием коричневых, красных, серых и светло-желтых участков), руминита (гиперкератоз в сочетании с гипертрофией сосочков слизистой оболочки рубца) и энтерита (гиперемия слизистой оболочки тонкого кишечника с участками кровоизлияния). В группе №3 на 7 день опыта констатировали смерть телёнка с патологоанатомическим диагнозом – острая пенная тимпания рубца.

Результаты клинического мониторинга представлены в таблице 1, из данных которой видно, что в первый день опыта нет существенных межгрупповых различий величин определяемых показателей. В течение всего опыта не отмечено достоверных изменений клинико-биохимического статуса телят из контрольной группы.

Таблица 1 – Клинические показатели телят в зависимости от сроков приучения к новому рациону (n = 30) / Table 1 – Clinical indicators of calves depending on the timing of accustoming to a new diet (n = 30)

| Показатель / Parameter | Группа № / Group №* | Дни опыта / Experimental days | | | | |
|--|------------------------|-------------------------------|--------------|------------|-------------|--------------|
| | | 1 | 7 | 14 | 28 | 42 |
| Частота сердечных сокращений, уд/мин / Heart Rate, bpm | 1 | 75,0±0,75 | 76,5±0,80 | 75,5±0,65 | 75,3±0,70 | 75,5±0,51 |
| | 2 | 75,5±0,88 | 77,5±0,70 | 77,5±0,80 | 80,0±0,62** | 78,0±0,50** |
| | 3 | 75,1±0,88 | 77,8±1,76 | 77,8±0,72 | 78,5±0,95 | 76,0±0,60 |
| Частота дыхания, уд/мин / Respiratory rate, bpm | 1 | 21,5±0,51 | 21,4±0,80 | 21,1±0,50 | 21,0±0,62 | 21,3±0,50 |
| | 2 | 21,6±0,50 | 21,0±0,47 | 21,0±0,31 | 25,0±0,25** | 27,2±0,37** |
| | 3 | 21,2±0,50 | 21,1±0,52 | 21,5±0,40 | 22,2±0,30** | 21,3±0,25 |
| Температура тела, °C / Body temperature, °C | 1 | 38,9±0,18 | 38,8±0,25 | 38,8±0,20 | 38,8±0,20 | 38,8±0,15 |
| | 2 | 38,8±0,25 | 38,7±0,25 | 39,0±0,25 | 39,2±0,33 | 39,0±0,20 |
| | 3 | 38,9±0,17 | 38,8±0,10 | 38,9±0,20 | 39,1±0,30 | 38,9±0,15 |
| Индекс Хильдебрандта / Hildebrandt index | 1 | 3,49±0,052 | 3,53±0,056 | 3,57±0,060 | 3,54±0,080 | 3,55±0,065 |
| | 2 | 3,50±0,073 | 3,70±0,045** | 3,69±0,035 | 3,20±0,065 | 2,85±0,059** |
| | 3 | 3,54±0,028 | 3,69±0,055 | 3,70±0,029 | 3,53±0,050 | 3,57±0,020 |

* №1(контроль) – телята имели свободный доступ к воде и сену, комбикорм получали в течение двух недель по 3,0 кг, а затем неограниченное количество, №2 и №3 – животные имели свободный доступ к воде, сену и концентратам, помимо этого, молодняку из группы №3 с 14 по 28 день опыта с кормом задавали фитосорбент в дозе 0,1 г/кг.

** различие достоверно (P≤0,05) в сравнении с показателями телят из группы №1 /

*№1 (control) – calves had free access to water and hay, and they received 3.0 kg of feed for two weeks, and then an unlimited amount, № 2 and №3 groups – animals had free access to water, hay and concentrates. In addition, young animals from group No. 3 from the 14th to the 28th day of the experiment were given a phytosorbent 0.1 g / kg with food.

** the difference is significant (P≤0.05) in comparison with the indicators of calves from group №1.

У телят с укороченным периодом приучения к потреблению концентратов (группы №2 и №3), в сравнении с показателями контроля, на 7 и 14 дни опыта, несмотря на отсутствие изменений частоты дыхания и пульса, отмечено нарушение их соотношения, на что указывает увеличение индекса Хильдебранда (ИХ) на 4,8 %.

На 28 день наблюдения состояние животных из групп №2 и №3 достоверно различалось. У телят группы №2 ЧДД выше контрольных на 19,0 %, а телят группы №3, которые получили курс энтеросорбента – на 5,7 %, ЧСС соответственно на 6,2 и 4,2% ($P \geq 0,05$), температура тела на 0,4 и 0,3° С, но при этом ИХ снизился на 9,6 и 9,3 %. На заключительном этапе наблюдения (42 день) у телят группы №3 и контроля изучаемые показатели были идентичны. У телят из группы №2 показатели выше – ЧСС на 3,3 %, ЧДД – на 27,7 %, ИХ ниже на 20,0 %.

Результаты исследования функций преджелудков представлены в таблице 2, из данных которой видно, что показатели сократительной функции преджелудков и состава содержимого рубца у здоровых телят в период наблюдения достоверно не изменялись. У телят с сокращенным периодом адаптации количество сокращений рубца на 7 день опыта увеличилось на 46,2 %, но уменьшилось в 2 раза в течение второй недели с последующим восстановлением до нормы на заключительном этапе наблюдения. Концентрация ионов водорода (рН) в содержимом рубца у телят из группы №2 и №3 в течение первой и второй недель снизилась на 0,10 и 0,65 ед., но в дальнейшем данный показатель увеличился до уровня ниже контрольного соответственно на 0,45 и 0,12 ед. Помимо этого у этих телят в течение первой недели отмечено уменьшение количества инфузорий на 41,0 % и увеличение бактерий на 4,3 % в содержимом рубца, но в дальнейшем отмечена тенденция к нормализации микробиоты. Однако, на 42 день количество инфузорий у них было более чем на 25 % ниже контроля. Число бактерий в группе №2 оказалось ниже на 8,6 %, в то время как у телят после курса сорбентов данный показатель достиг уровня контроля. Протеолитическая активность содержимого рубца в течение первых двух недель опыта увеличилась на 28,9 %, но затем у телят из группы №3 снизилась (на 20,4 %) до уровня контроля, в то время как в группе №2 оставалась повышенной весь период наблюдения.

Интегральными показателями, отражающими процессы пищеварения в рубце, являются окислительно-восстановительный потенциал (Еh) и количество молекул средней массы (МСМ 237 нм) в содержимом рубца. Показатель Еh у телят с сокращенным периодом адаптации (гр. №2 и №3) снизился в первые две недели опыта на 6,0 %, а в дальнейшем в группе №2 ещё на 4 %. У животных после курса приема фитосорбента отмечена тенденция к нормализации окислительно-восстановительного потенциала, однако на 42 день он снизился на 4,2 % относительно контроля. Содержание токсических веществ (МСМ) в группах №2 и №3 в течение первой недели опыта превысило верхний предел нормы (2,0 усл. ед), но затем если у первых их уровень увеличивался, то у телят после курса сорбента они находились в референсном диапазоне.

В таблице 3 представлены результаты анализа крови телят, из данных которой видно, что уровень маркеров эндогенной интоксикации у телят из группы контроля находился в пределах нормы (МСМ 237 нм – 0,1-1,0 усл. ед, МСМ 254 нм – 0,05-0,30 усл. ед.) и в период опыта достоверно не изменился.

У животных №2 и №3 групп, в сравнении с контролем, в первый день опыта нет существенных различий, но в последующие 7 дней у них отмечено превышение нормы содержания МСМ на длине волны 237 нм на 27-28 % и 254 нм – на 9,3 и 10,0 %.

В течение второй недели (14 день) выраженность эндогенной интоксикации достигла максимального уровня за весь период опыта, количество МСМ на волне 237 и 254 нм отмечено выше контроля соответственно в 2,4 раза и на 42,0 %. В течение последующих 14 дней содержание маркеров аутоинтоксикации существенно снизилось и, хотя было на высоком уровне, но не превышало норму.

У телят из группы №2 в последующие дни наблюдения отмечено резкое увеличение содержания молекул средней массы на длине волны 237 нм на 61,0 % и на 254 нм – на 24,2 %, что указывает на наличие резорбтивной и обменной аутоинтоксикации. У животных после курса фитосорбента (№3) на заключительном этапе опыта не произошло достоверного изменения маркеров эндогенной интоксикации. На 42 день опыта у них в сравнении с животными из группы №2 оказались достоверно ($P \leq 0,05$) ниже уровень МСМ 237 нм (на 46,7 %) и МСМ 254 нм (на 19,1 %).

Таблица 2 – Показатели моторной функции и содержимого рубца телят в зависимости от сроков приучения к новому рациону (n = 30) /

Table 2 – Indicators of motor function and content of the rumen of calves depending on the timing of accustoming to a new diet (n = 30)

| Показатель / Parameter | Группа № / Group №* | Дни опыта / Experimental days | | | | |
|--|------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 7 | 14 | 28 | 42 |
| Кол-во сокращений рубца/2 мин / Number of rumen contractions per 2 min | 1 | 2,5±0,10 | 2,6±0,15 | 2,6±0,15 | 2,5±0,15 | 2,7±0,18 |
| | 2 | 2,6±0,20 | 3,8±0,25* | 1,3±0,10* | 2,2±0,20 | 2,2±0,25 |
| | 3 | 2,5±0,16 | 3,8±0,30* | 1,2±0,15* | 2,3±0,15 | 2,3±0,25 |
| Содержимое рубца / Rumen contents | | | | | | |
| рН, ед. / pH, units | 1 | 6,52±0,102 | 6,56±0,109 | 6,55±0,100 | 6,46±0,113 | 6,50±0,107 |
| | 2 | 6,50±0,111 | 5,61±0,065* | 5,80±0,103* | 5,85±0,095* | 6,05±0,114* |
| | 3 | 6,52±0,088 | 5,60±0,073* | 5,78±0,091* | 6,09±0,118 | 6,38±0,111 |
| Окислительно- восстановительный потенциал (Eh) / Redox potential | 1 | -144,3±2,15 | -144,5±2,20 | -142,8±1,26 | -145,0±2,00 | -144,2±2,20 |
| | 2 | -144,0±1,00 | -140,0±3,00 | -134,5±2,16* | -128,0±1,38* | -129,7±2,15* |
| | 3 | -143,0±2,06 | -140,2±1,63 | -134,2±1,90* | -135,5±2,12* | -138,2±2,20 |
| Кол-во инфузорий, тыс/мл / Number of ciliates, thousand, ml | 1 | 164,5±1,25 | 166,0±2,50 | 165,5±2,50 | 165,5±1,80 | 164,6±1,95 |
| | 2 | 165,0±2,00 | 98,5±1,00* | 106,8±2,25* | 118,5±2,05* | 122,0±1,73* |
| | 3 | 165,1±1,50 | 96,3±2,13* | 106,0±2,00* | 125,0±1,80* | 125,0±2,00* |
| Кол-во бактерий, млн/мл / Number of bacteria, million/ml | 1 | 38,0±0,50 | 38,5±1,00 | 38,0±0,64 | 37,7±1,01 | 38,3±0,55 |
| | 2 | 38,3±0,83 | 39,8±0,61 | 33,3±0,59* | 33,6±0,45* | 35,0±0,88* |
| | 3 | 38,2±1,14 | 40,0±0,70 | 32,0±0,65* | 38,2±0,72 | 38,0±0,60 |
| Протеолитическая активность, мкМ ам. азота /мин/г / Proteo- lytic activity, μM am. Nitrogen /min/g | 1 | 21,5±0,37 | 22,0±0,42 | 21,6±0,50 | 21,5±0,58 | 22,0±0,35 |
| | 2 | 21,5±0,50 | 22,5±0,38 | 27,8±0,30* | 26,9±0,29* | 27,3±0,42* |
| | 3 | 21,7±0,43 | 22,5±0,42 | 27,9±0,30* | 22,2±0,33 | 22,2±0,27 |
| МСМ 237 нм, усл. ед / Molecules of average masses 237 nm, conventional units | 1 | 1,508±0,008 | 1,775±0,012 | 1,613±0,0125 | 1,792±0,0150 | 1,539±0,0169 |
| | 2 | 1,618±0,028 | 2,135±0,014* | 2,295±0,020* | 2,406±0,033* | 2,396±0,026* |
| | 3 | 1,653±0,016 | 2,157±0,048* | 2,311±0,044* | 1,881±0,029 | 1,905±0,033* |

* Различие достоверно (P≤0,05) в сравнении с показателями телят из группы №1.

* The difference is significant (P≤0.05) in comparison with the indicators of calves from group №1.

Таблица 3 – Биохимические показатели крови телят в зависимости от сроков приучения к новому рациону (n = 30) /

Table 3 – Blood biochemical parameters of calves depending on the timing of accustoming to a new diet (n = 30)

| Показатель / Parameter | Группа № / Group №* | Дни опыта / experimental days | | | | |
|---|------------------------|-------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | | 1 | 7 | 14 | 28 | 42 |
| МСМ 237 нм, усл. ед. / Molecules of average masses 237 nm, conventional units | 1 | 0,685±0,010 | 0,712±0,026 | 0,695±0,018 | 0,678±0,020 | 0,789±0,022 |
| | 2 | 0,713±0,024 | 1,270±0,038* | 1,685±0,029* | 1,050±0,021* | 1,690±0,038* |
| | 3 | 0,697±0,016 | 1,281±0,036* | 1,690±0,033* | 1,017±0,042* | 0,900±0,029* |
| МСМ 254 нм, усл. ед. / Molecules of average masses 254 nm, conventional units | 1 | 0,285±0,009 | 0,268±0,012 | 0,273±0,020 | 0,245±0,025 | 0,255±0,016 |
| | 2 | 0,285±0,015 | 0,328±0,011* | 0,385±0,025* | 0,301±0,013* | 0,377±0,020* |
| | 3 | 0,295±0,008 | 0,330±0,015* | 0,392±0,023* | 0,299±0,020* | 0,305±0,022* |

* Различие достоверно (P≤0,05) в сравнении с показателями телят из группы №1 /

* The difference is significant (P≤0.05) in comparison with the indicators of calves from group №1

В сопоставимых группах использовались аналогичные по питательности корма,

фактическое потребление которых представлено в таблице 4.

Таблица 4 – Показатели потребления кормов телятами и интенсивности их роста в зависимости от сроков приучения к новому рациону /

Table 4 – Indicators of feed intake by calves and their growth intensity depending on the timing of accustoming to a new diet

| Показатель / Parameter | Группа № / Group No. | Дни эксперимента / experimental days | | | | |
|---|-------------------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | 0-3 | 3-7 | 7-14 | 14-28 | 28-42 |
| Количество животных, гол / Number of animals, heads | 1 | 30 | 30 | 30 | 30 | 30 |
| | 2 | 30 | 30 | 29 | 29 | 22 |
| | 3 | 30 | 30 | 29 | 29 | 29 |
| Средняя масса тела в начале анализируемого периода, кг / Average body weight at the beginning of the analyzed period, kg | 1 | 165,0±0,55 | 167,6±0,50 | 171,2±0,63 | 177,6±0,25 | 190,6±0,45 |
| | 2 | 166,1±0,50 | 168,8±0,53 | 171,2±0,50 | 175,6±0,75 | 185,0±0,51 |
| | 3 | 165,3±0,30 | 168,0±0,50 | 170,4±0,63 | 175,0±0,50 | 185,3±1,05 |
| Средняя масса тела в конце анализируемого периода, кг / Average body weight at the end of the analyzed period, kg | 1 | 167,6±0,50 | 171,2±0,63 | 177,6±0,25 | 190,6±0,45 | 203,8±0,70 |
| | 2 | 168,8±0,53 | 171,2±0,50 | 175,6±0,95 | 185,0±0,51 | 193,4±0,55 |
| | 3 | 168,0±0,50 | 170,4±0,63 | 175,0±0,50 | 185,3±1,05 | 196,7±0,73 |
| Валовой привес, кг/гол / Gross weight gain, kg/head | 1 | 2,65±0,20 | 3,64±0,18 | 6,41±0,23 | 12,95±0,55 | 13,2±0,58 |
| | 2 | 2,74±0,10 | 2,36±0,15 | 4,41±0,16 | 9,38±0,35 | 8,4±0,37 |
| | 3 | 2,73±0,17 | 2,35±0,12 | 4,63±0,20 | 10,33±0,71 | 11,4±0,46 |
| Среднесуточный прирост, г/гол / Average daily weight gain, g/head | 1 | 883,3 | 910,0 | 915,0 | 925,0 | 940,0 |
| | 2 | 913,0 | 590,0 | 630,0 | 670,0 | 600,0 |
| | 3 | 910,0 | 586,5 | 661,0 | 738,0 | 815,0 |

Динамика среднесуточного прироста массы тела телят из группы контроля характеризовалась умеренно выраженной тенденцией к увеличению в течение 14 дней, но затем произошло существенное повышение, и на заключительном этапе (28-42 день) активность роста оказалась выше исходного уровня на 6,4 %. В то время как у животных из группы №2 в течение первых трёх дней опыта интенсивность роста была выше, чем в контроле на 3,4 %, но в периоды «3-7», «7-14», «14-28» «28-42» их среднесуточный привес снизился соответственно на 35,2, 31,1, 27,6 и 36,2 %. Аналогичная динамика активности роста была отмечена у телят из группы №3, но в периоды 14-28 и 28-42 дня среднесуточный прирост у них оказался выше, чем в группе №2 соответственно на 10,1 и 35,8 %. Представленные данные показали, что изменение токсико-биохимического профиля животных отразилось на интенсивности их роста – интегральном показателе состояния здоровья.

Таким образом, сокращение периода приучения телят к потреблению большого количества концентратов, оказало негативное

влияние на сократительную функцию рубца и процессы пищеварения в его полости. При этом в начале наблюдается активизация сократительной деятельности, но затем возникает гипотония преджелудков. В течение нескольких дней потребления повышенного количества комбикорма формируется комплекс симптомов ацидоза рубца, а у некоторых и пенистой тимпаниии, с соответствующими изменениями физико-химических свойств и состава содержимого рубца. Наблюдаемое при этом разрушение микроорганизмов сопровождается выходом ферментов, которые повышают активность полостного пищеварения в рубце, в частности протеолитическую активность его содержимого. В результате возникает дисбаланс между депрессией симбионтного и активацией полостного пищеварения, что является причиной нарушения обменных процессов в полости рубца с соответствующим накоплением токсических метаболитов (МСМ237) и снижением окислительно-восстановительного потенциала (Eh). Помимо локальных изменений процессов пищеварения в рубце, на данном этапе опыта (1-7 дней) наблюдали дисбаланс вегетативной

нервной системы с преобладанием симпатикотонии, и накопление в крови токсических продуктов нарушенного обмена веществ (МСМ254).

После проведения курса терапии специфические симптомы пенистой тимпани и ацидоза рубца исчезли соответственно на 7 и 14 дни опыта, но сохранился синдром биохимической недостаточности процессов пищеварения в преджелудках, который стал постоянным источником токсических метаболитов [14], поддерживающим постоянный предпороговый уровень локальной аутоинтоксикации и снижающий интенсивность роста животных.

Перевод визуально здоровых животных на технологический рацион (с 28 дня) активизировал процессы метаболизма в рубце, что на фоне синдрома биохимической недостаточности в полости рубца стало причиной увеличения количества токсических продуктов неполноценных процессов пищеварения в его полости (МСМ 254), а затем и в крови (МСМ 237, МСМ 254) с соответствующим негативным влиянием на организм в целом. При этом отмечено усиление депрессии роста животных и дисбаланса их вегетативной нервной системы с преобладанием парасимпатического звена. Генерализация синдрома эндогенной интоксикации и вегетативная дистония, вероятно, являются одними из патогенетических механизмов, формирующих предрасположенность к развитию патологии органов дыхания и желудочно-кишечного тракта [13, 14, 15]. Данное предположение подтверждается тем, что проведение курса фитосорбента на фоне остаточных патологических явлений после заболеваний преджелудков снизило уровень токсических веществ в рубце, что исключило прогрессирование эндогенной интоксикации при повышении функ-

циональной нагрузки на органы пищеварения. В результате был нивелирован механизм формирования патогенетической интеграции (предрасположенности) в организме с соответствующим снижением уровня заболеваемости лёгких, рубца и кишечника [15, 16].

Заключение. Проведённые исследования показали, что сокращение периода приучения телят к потреблению большого количества концентратов оказало негативное влияние на функции рубца и увеличило риск развития ацидоза рубца, а у 13,3 % отдельных животных и пенистой тимпани. После курса соответствующего лечения специфические признаки указанных патологий рубца исчезли, но сохранился дисбаланс между депрессией симбионтного и активацией полостного пищеварения с формированием постоянного предпорогового уровня локальной аутоинтоксикации. Перевод животных на технологический рацион активизировал процессы метаболизма в рубце и усиления биохимического дисбаланса, что сопровождалось прогрессированием синдрома эндогенной интоксикации и вегетативной дистонии с соответствующим увеличением риска развития респираторных и желудочно-кишечных болезней. Проведение курса комбинированного сорбента на фоне остаточных патологических явлений после дисфункций преджелудков снижает уровень токсических веществ в рубце и исключает генерализацию аутоинтоксикации при повышении функциональной нагрузки на органы пищеварения. В результате с помощью фитосорбента был нивелирован механизм формирования патогенетической интеграции (предрасположенности) в организме, что стало причиной снижения уровня заболеваемости животных в 6,7 раза и на 22,9 % активизации их роста.

Список литературы

1. Kostenko O.V. Russian beef sector: economic analysis and forecast. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2021;941:012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012010>
2. Манжурина О. А., Пархоменко Ю. С., Перепелкина И. С., Семенова Е. В., Копытина К. О., Рожкова И. Н., Дмитриева Н. А. Этиологическая структура пневмоэнтеритов телят в хозяйствах центрального региона Российской Федерации. Ветеринарный фармакологический вестник. 2020;(1(10)):96-100. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2020.1.96> EDN: PIHYQN
3. Wilson D. J., Habing G., Winder C. B., Renaud D. L. A scoping review of neonatal calf diarrhea case definitions. Preventive Veterinary Medicine. 2023;211:105818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2022.105818>
4. Booker C. W., Lubbers B. V. Bovine Respiratory Disease Treatment Failure: Impact and Potential Causes. Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2020;36(2):487-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.007>
5. Smith R. A., Step D. L., Woolums A. R. Bovine Respiratory Disease: Looking Back and Looking Forward, What Do We See? Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice. 2020;36(2):239-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.009>
6. Zhukov M., Alekhin Yu., Kalyuzhny I., Dorozhkin V., Stekolnikov A. Reasons for cattle retirement on feeding farms. BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019). 2020;17:0098. DOI <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700098>

7. Pažout V., Strakova E., Suchý P., Hygiene A. Effect of intensive fattening of bulls based on a high-grain diet on growth intensity and biochemical and acid-base parameters of blood. *Czech Journal of Animal Science*. 2005;50(8):355-361. DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/4177-CJAS>
8. Magrin L., Gottardo F., Contiero B., Cozzi G. Association between gastrointestinal tract, claw disorders, on-farm mortality and feeding management in veal calves. *Italian Journal of Animal Science*. 2021;20(1):6-13. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1863868>
9. Попова О. С., Барышев В. А. Оценка токсичности на лабораторных животных ригатирина и фитосорбционного комплекса с хитозаном. Инновационная деятельность науки и образования в агропромышленном производстве: мат-лы Международ. научно-практ. конф. Курск: КГСХА им. И. И. Иванова, 2019. С. 324-328. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39223608&ysclid=li1bu44idh968648866> EDN: GOYPP1
10. Попова О. С., Барышев В. А. Изучение влияния Ригатирина на биохимический статус лактирующих коров. *Международный ветеринарный вестник*. 2019;(3):40-44. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41138484&ysclid=li1bwu305w942962885> EDN: QUPHZT
11. Алехин Ю. Н., Жуков М. С. Способ диагностики нарушений рубцового пищеварения у жвачных: пат. №2565412 Российская Федерация. № 2014137684/15; заявл. 17.09.2014; опубл. 20.10.2015. Бюл. № 29. 12 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&m=4993&DocNumber=2565412&TypeFile=pdf
12. Dias Batista L. F., Norris A. B., Adams J. M., Hairgrove T. B., Tedeschi L. O. Technical Note: The comparison of pH and redox potential in different locations in the reticulo-rumen of growing beef steers supplemented with different levels of quebracho extract. *Journal of Animal Science*. 2021;99(10):skab260. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skab260>
13. Srivastava R., Singh P., Tiwari S., Mishra D. B., Kumar G. Sub-acute ruminal acidosis: Understanding the pathophysiology and management with exogenous buffers. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2021;9(2):593-599. DOI: <https://doi.org/10.22271/j.ento.2021.v9.i2i.8537>
14. Nagaraja T. G. Ruminal microbes, microbial products, and systemic inflammation. *Journal of Animal Science*. 2016;94(suppl_5):90-94. DOI: <https://doi.org/10.2527/jam2016-0186>
15. Mizera L., Boehm K., Duckheim M., Grogga-Bada P., Gawaz M., Zuern Ch. S., Eick Ch. Autonomic nervous system activity for risk stratification of emergency patients with pneumonia. *The Journal of Emergency Medicine*. 2018;55:472-480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2018.06.016>
16. Жуков М. С., Алехин Ю. Н., Моргунова В. И., Никоенко Г. В. Критерии оценки тяжести течения бронхопневмонии у телят. *Ветеринарный фармакологический вестник*. 2022;(2(19)):103-122. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2022.2.103> EDN: XWRZRY

References

1. Kostenko O.V. Russian beef sector: economic analysis and forecast. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021;941:012010. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/941/1/012010>
2. Manzhurina O. A., Parkhomenko Yu. S., Perepelkina I. S., Semenova E. V., Kopytina K. O., Rozhkova I. N., Dmitrieva N. A. Etiological structure of pneumoenteritis in calves on cattle breeding farms in the central region of the Russian Federation. *Veterinarnyy farmakologicheskyy vestnik = Bulletin of veterinary pharmacology*. 2020;(1(10)):96-100. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2020.1.96>
3. Wilson D. J., Habing G., Winder C. B., Renaud D. L. A scoping review of neonatal calf diarrhea case definitions. *Preventive Veterinary Medicine*. 2023;211:105818. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2022.105818>
4. Booker C. W., Lubbers B. V. Bovine Respiratory Disease Treatment Failure: Impact and Potential Causes. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2020;36(2):487-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.007>
5. Smith R. A., Step D. L., Woolums A. R. Bovine Respiratory Disease: Looking Back and Looking Forward, What Do We See? *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2020;36(2):239-251. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cvfa.2020.03.009>
6. Zhukov M., Alekhin Yu., Kalyuzhny I., Dorozhkin V., Stekolnikov A. Reasons for cattle retirement on feeding farms. *BIO Web of Conferences. International Scientific-Practical Conference "Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources" (FIES 2019)*. 2020;17:0098. DOI <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700098>
7. Pažout V., Strakova E., Suchý P., Hygiene A. Effect of intensive fattening of bulls based on a high-grain diet on growth intensity and biochemical and acid-base parameters of blood. *Czech Journal of Animal Science*. 2005;50(8):355-361. DOI: <http://dx.doi.org/10.17221/4177-CJAS>
8. Magrin L., Gottardo F., Contiero B., Cozzi G. Association between gastrointestinal tract, claw disorders, on-farm mortality and feeding management in veal calves. *Italian Journal of Animal Science*. 2021;20(1):6-13. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2020.1863868>
9. Popova O. S., Baryshev V. A. Evaluation of toxicity of rigatirin and phytosorption complex with chitosan on laboratory animals. *Innovative activity of science and education in agro-industrial production: Proceedings of International scientific and practical. conf. Kursk: KGSKhA im. I. I. Ivanova*, 2019. С. 324-328. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39223608&ysclid=li1bu44idh968648866>
10. Popova O. S., Baryshev V. A. Study of the influence of Rigatirin on the biochemical status of lactating cows. *Mezhdunarodnyy veterinarnyy vestnik*. 2019;(3):40-44. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41138484&ysclid=li1bwu305w942962885>

11. Alekhin Yu. N., Zhukov M. S. Method for diagnosing cicatricial digestion disorders in ruminants: Patent RF, no. №2565412. 2015. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=4993&DocNumber=2565412&TypeFile=pdf
12. Dias Batista L. F., Norris A. B., Adams J. M., Hairgrove T. B., Tedeschi L. O. Technical Note: The comparison of pH and redox potential in different locations in the reticulo-rumen of growing beef steers supplemented with different levels of quebracho extract. *Journal of Animal Science*. 2021;99(10):skab260. DOI: <https://doi.org/10.1093/jas/skab260>
13. Srivastava R., Singh P., Tiwari S., Mishra D. B., Kumar G. Sub-acute ruminal acidosis: Understanding the pathophysiology and management with exogenous buffers. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2021;9(2):593-599. DOI: <https://doi.org/10.22271/j.ento.2021.v9.i2i.8537>
14. Nagaraja T. G. Ruminal microbes, microbial products, and systemic inflammation. *Journal of Animal Science*. 2016;94(suppl_5):90-94. DOI: <https://doi.org/10.2527/jam2016-0186>
15. Mizera L., Boehm K., Duckheim M., Grogga-Bada P., Gawaz M., Zuern Ch. S., Eick Ch. Autonomic nervous system activity for risk stratification of emergency patients with pneumonia. *The Journal of Emergency Medicine*. 2018;55:472-480. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jemermed.2018.06.016>
16. Zhukov M. S., Alekhin Yu. N., Morgunova V. I., Nikonenko G. V. Kriterii otsenki tyazhesti techeniya bronkhopnevmonii u telyat. *Veterinarnyy farmakologicheskij vestnik* = Bulletin of veterinary pharmacology. 2022;(2(19)):103-122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2541-8203.2022.2.103>

Сведения об авторах

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

Алехин Юрий Николаевич, доктор вет. наук, главный научный сотрудник отдела экспериментальной терапии, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»), ул. Ломоносова, 1146, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0666-7722>

Паршин Павел Андреевич, доктор вет. наук, профессор, директор, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»), ул. Ломоносова, 1146, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8790-0540>

Лядова Людмила Викторовна, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела клинико-лабораторных исследований, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»), ул. Ломоносова, 1146, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1673-9892>

Лебедева Анастасия Юрьевна, младший научный сотрудник отдела клинико-лабораторных исследований, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский ветеринарный институт патологии, фармакологии и терапии» (ФГБНУ «ВНИВИПФиТ»), ул. Ломоносова, 1146, г. Воронеж, Российская Федерация, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4794-6026>

Information about the authors

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

Yuri N. Alekhin, DSc in Veterinary Science, chief researcher, the Department of Experimental Therapy, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Lomonosov str., 114b, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0666-7722>

Pavel A. Parshin, DSc in Veterinary Science, professor, Director, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Lomonosov str., 114b, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8790-0540>

Lyudmila V. Lyadova, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Clinical and Laboratory Research, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Lomonosov str., 114b, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1673-9892>

Anastasia Yu. Lebedeva, junior researcher, the Department of Clinical and Laboratory Research, All-Russian Veterinary Research Institute of Pathology, Pharmacology and Therapy, Lomonosov str., 114b, Voronezh, Russian Federation, 394087, e-mail: vnivipat@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4794-6026>

✉ – Для контактов / Corresponding author

МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509>
УДК 629.018



Разработка и создание ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей

© 2023. З. А. Годжаев ✉, Е. В. Овчинников, А. С. Овчаренко
ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Москва,
Российская Федерация

Обоснована потребность в необходимости применения подобных движителей в мобильных энергетических средствах сельского хозяйства. Показана актуальность данной разработки исходя из мировых тенденций. Цель исследований – разработка конструкции, оценка напряженно-деформированного состояния и функциональных характеристик ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей. Разработана и изготовлена опытная конструкция сменной (съёмной) гусеничной ходовой системы (СГХС), выполнено моделирование нагрузочных режимов, проведены расчеты методом конечных элементов напряженно-деформированного состояния элементов конструкции по 6 нагрузочным схемам – стоянка трактора на ровной горизонтальной поверхности; движение с максимальной силой тяги; стоянка поперек уклона в 30° для верхней гусеницы; стоянка поперек уклона в 30° для нижней гусеницы; заезд на препятствие с отклонением СГХС на 15° ; проезд препятствия с опорой на центральные катки. По результатам расчетов определено, что выбранный конструкционный материал при вышеуказанных режимах нагружения обеспечивает работоспособность СГХС. Проведены расчеты по проверке адекватности разработанной математической модели при испытаниях на опытных полях ФГБНУ ФНАЦ ВИМ. Определено, что, максимальное напряженно-деформированное состояние конструкции рамы СГХС, при всех видах нагружения не превысило 100 МПа. Это обеспечивает двукратный запас прочности по текучести конструкции с учетом характеристик выбранного материала. В максимально нагруженном состоянии – стоянка поперек уклона 30° – наибольшее напряжение на верхней гусенице составляет 161 МПа, что соответствует запасу прочности 1,45. Деформация подшипникового узла составила не более 4 мм, что допускается конструкцией узла привода и гусеницы.

Ключевые слова: сменные гусеницы, метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, давление на почву, мобильные энергосредства

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ ФНАЦ ВИМ (НИОКР «10.9.03. Разработка системы универсальных мобильных энергетических и транспортно-технологических комплексов для сельскохозяйственного производства»).

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

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Годжаев З. А., Овчинников Е. В., Овчаренко А. С. Разработка и создание ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2023;24(3):498-509. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509>

Поступила: 14.03.2023

Принята к публикации: 08.06.2023

Опубликована онлайн: 28.06.2023

Design and development of undercarriage systems for agricultural tractors with replaceable half-tracks

© 2023. Zakhid A. Godzhaev ✉, Evgeniy V. Ovchinnikov, Alexander S. Ovcharenko
Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

The need to use such propulsion devices in mobile agricultural power units is substantiated. The relevance of this development based on global trends is shown. The purpose of the research is to develop the design, to evaluate strain-stress state and functional characteristics of undercarriages of agricultural tractors with replaceable half-tracks. An experimental design of the replaceable tracked undercarriage was developed and manufactured, modeling of loading modes was performed, calculations were carried out by the finite element method of the stress-strain state of structural elements according to 6 load schemes – tractor parking on a flat horizontal surface; movement with maximum traction force; parking across a 30° slope for the upper track; parking across a 30° slope for the lower caterpillar; driving into an obstacle with a deviation of 15° ; driving over obstacles based on the central rollers. It was determined that the selected structural material, by the above mentioned loading modes ensure the operability of replaceable tracked undercarriage. Calculations were carried out to check the adequacy of the developed mathematical model using field tests in testing ground of FSAC VIM. It was determined that the maximum stress-strain

state of the frame structure of a replaceable tracked undercarriage for all types of loading did not exceed 100 MPa. This provides a two-fold margin of safety in terms of fluidity of the structure, taking into account the characteristics of the selected material. In the maximum loaded state - parking across a slope of 30° - the highest stress on the upper track is 161 MPa, which corresponds to a safety margin of 1.45. The deformation of the bearing assembly was no more than 4 mm, which is allowed by the design of the drive assembly and the caterpillar.

Key words: replaceable tracks, finite element method, stress-strain state, soil pressure, mobile power units

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 Scientific Agroengineering Center VIM (theme № 10.9.03.)

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: Godzhaev Z. A., Ovchinnikov E. V., Ovcharenko A. S. Design and development of undercarriage systems for agricultural tractors with replaceable half-tracks. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(3):498-509. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.498-509>

Received: 14.03.2023

Accepted for publication: 08.06.2023

Published online: 28.06.2023

В последнее время все больше внимания уделяется вопросам повышения энергоэффективности и экологической безопасности создаваемых мобильных энергетических средств, в том числе и сельскохозяйственного назначения. Помимо выбросов продуктов сгорания используемого топлива и утечек горюче-смазочных материалов, велико негативное воздействие двигателей мобильной сельскохозяйственной техники на почву и растительность. Таким примером является использование традиционных колесных ходовых систем. В этом случае, при применении навесных широкозахватных почвообрабатывающих и посевных машин и орудий, полная масса орудия передается на движитель, что в большинстве случаев приводит к переуплотнению почв [1, 2, 3], а также к срыву и измельчению верхнего плодородного слоя. Это приводит к снижению урожайности до 30 % сельскохозяйственных культур [4, 5, 6]. В Российской Федерации действуют нормы уплотняющего воздействия на почву, которые регламентируются ГОСТ 58655-2019¹, требованиям которого большинство колесных тракторов не соответствует. Особенно высоки требования для слабонесущих грунтов во время весенне-осеннего периодов выполнения сельхозработ. Одним из способов решения данной проблемы может служить установка сдвоенных колес. Однако установка таких колес сопровождается увеличением габаритных размеров мобильных энергосредств (МЭС) и его колес [7, 8], что затрудняет их применение при обработке посадок пропашных культур, при работе в междурядье, а также при перемещении по дорогам общего пользования. В таких условиях предпочтительным является применение гусеничных тракторов, в том числе

со сменными полугусеницами, установленными взамен колес [8, 9, 10]. Зарубежные производители в основном выпускают тракторы с колесными движителями, которые включают в себя опциональное использование сменных полугусеничных движителей [11, 12], подобные решения существуют и в нашей стране [13]. Такой вариант позволяет на колесном тракторе с классической компоновкой реализовать преимущества гусеничной ходовой системы.

Цель исследований – разработка конструкции, оценка напряженно-деформированного состояния и функциональных характеристик ходовых систем сельскохозяйственных тракторов со сменной полугусеницей.

Научная новизна – разработаны расчетные схемы и пространственные модели исследования напряженно-деформированного состояния сложно-нагруженной конструкции несущей системы сменной полугусеницы трактора.

Материал и методы. Сотрудниками ФГБНУ ФНАЦ ВИМ в рамках НИОКР «10.9.03. Разработка системы универсальных мобильных энергетических и транспортно-технологических комплексов для сельскохозяйственного производства» в 2017-2022 гг., были разработаны, изготовлены и испытаны сменные гусеничные ходовые системы, обеспечивающие снижение уплотняющего воздействия на почву и повышения тягово-сцепных характеристик мобильного энергосредства. В процессе разработки применялись общепринятые методы проектирования деталей машин и механизмов², включающие расчетные и расчетно-графические методы определения нагрузок, расчеты основных несущих элементов конструкции и методы твердотельного моделирования,

¹ГОСТ 58655-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Нормы воздействия двигателей на почву. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293725/4293725777.pdf>

²Даштиев И. З. Конструкции элементов ходовой части быстроходных гусеничных машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 108 с.

результат применения которых лег в основу проводимых проверочных расчетов методом конечных элементов (МКЭ)³ и формирования аксонометрических проекций элементов конструкции для конструкторской документации.

Проведен аналитический расчет сварных соединений рамы для статически неопределимой системы при условии приложения всего веса трактора на один борт.

Расчеты проводили с применением МКЭ и известных программных комплексов. Величины и направление действия нагрузок при этом выбирали соответственно определенным схемам нагружения сменных (съёмных)

гусеничных ходовых систем (СГХС). При этом конечно-элементная сетка трехмерного объекта строилась на основе элементов треугольной формы с глобальным размером стороны элемента 6 мм и допуском 0,3 мм, что позволило учесть все радиальные переходы и при этом снизить влияние краевых условий на достоверность решения задачи. Расчет прочности сварных соединений проводили отдельно.

Объектом установки сменной гусеничной ходовой системы служил трактор с колесной формулой 4К4а «Беларус-622» тягового класса 0,9, основные технические характеристики которого приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Технические характеристики трактора «Беларус-622» / Table 1 – Specifications of “Belarus-622” tractor

| Показатель / Index | Значение / Value |
|---|------------------------------------|
| Габаритные размеры (ДхШхВ), мм / Dimensions (LxWxH), mm | 3450x1700x2310 |
| База, мм / Wheelbase, mm | 2015 |
| Дорожный просвет, мм / Ground clearance, mm | 360 |
| Колея по передним колесам, мм / Front gauge, mm | 1390 и 1530 |
| Колея по задним колесам, мм / Rear gauge, mm | 1410, 1510, 1560, 1660, 1730, 1830 |
| Размерность шин: / Tire size: | |
| передних колес / front wheels | 12,4L-16 (265/70R16) |
| задних колес / rear wheels | 360/70R24 |
| наружный диаметр (пер./зад.), мм / outside diameter (front/rear), mm | 930/1154 |
| статический радиус (пер./зад.), мм / static radius(front/rear), mm | 425/528 |
| Мощность, кВт (л.с.) / Power, kW (hp) | 46 (62,5) |
| Скорость движения, вперед/назад, км/ч / Velocity range, forward/reverse, km/h | 1,2-36,6/2,1-19,5 |

В соответствии с ТЗ, к конструкции СГХС предъявлялись следующие требования: относительно легкая и прочная рама, выполненная из профильных бесшовных труб; фланец СГХС для соединения со ступицей полуоси трактора; ведущее колесо; подвеска с упругодемпфирующими элементами на основе полимерно-композитных материалов; винтовой механизм натяжения гусеницы; катки с упругими элементами на основе полимерно-композитных материалов; механизм ограничения поворота СГХС⁴ [13, 14, 15].

Фланец СГХС должен быть полностью совместим с посадочной ступицей заднего колеса трактора «Беларус-622» диаметром 145 мм. СГХС должны размещаться в подкрыльном пространстве трактора в соответствии с размерами на рисунке 1.

Расчет общих компоновочных параметров СГХС проводили с учетом необходимой площади опорной поверхности, и согласно ГОСТ 26954-2019⁵ максимально допустимое давление на почву не должно превышать 80 кПа.

$$S = \frac{F}{P} = 0,163 \text{ м}^2, \quad (1)$$

где S – допустимая площадь опорной поверхности одной СГХС; F – сила тяжести на одну тележку; P – максимально допустимое давление на почву.

Был выбран комплект резиноармированных гусениц типоразмера 320x100x37, исходя из требований к площади опорной поверхности и возможности их установки на трактор без существенных конструктивных изменений. Необходимая минимальная длина опорной поверхности при ширине гусеницы 320 мм составляет 0,509 м.

³Лахтин А. А. Расчет рам методом конечных элементов: учебно-методическое пособие. Екатеринбург: УрГУПС, 2011. 36 с.

⁴Казаченко Г. В., Басалай Г. А., Кремчев Э. А. Колесные движители горных машин: методическое пособие. Минск: БНТУ, 2012. 37 с.

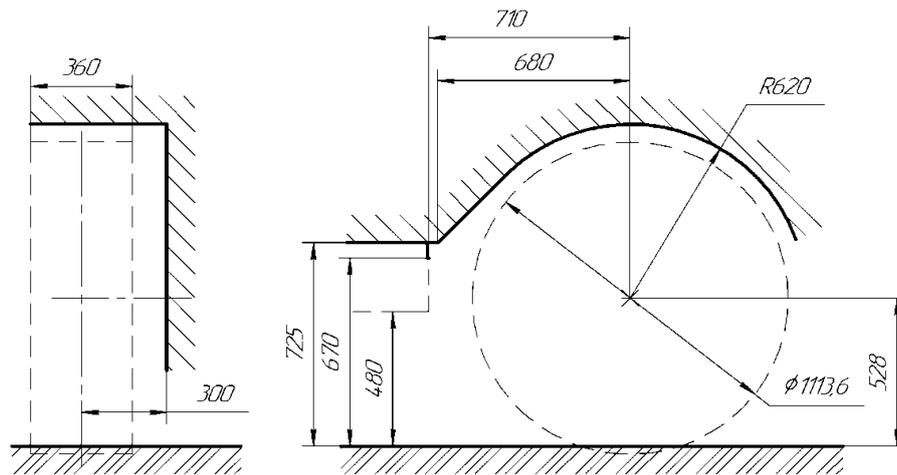


Рис. 1. Ограничения по размещению СГХС в подкрыльном пространстве /

Fig. 1. Restrictions on placement of a removable tracked undercarriage system in the underwing space

Согласно требованиям к длительной эксплуатации и стойкости к внешним воздействиям, каждая СГХС должна выдерживать половину эксплуатационного веса машины, что соответствует величине 13,0 кН. Ресурс СГХС

обязан составлять не менее 1500 моточасов. Ожидаемый средний ресурс – 3000 моточасов.

В результате проводимой работы было разработано несколько кинематических схем СГХС. Один из вариантов показан на рисунке 2.

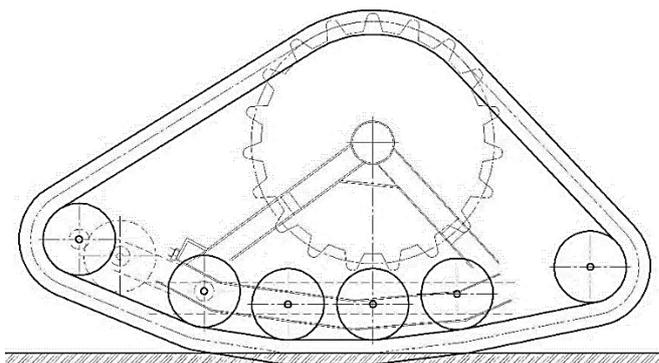


Рис. 2. Кинематическая схема СГХС с изменяемой опорной площадью /

Fig. 2. Kinematic diagram with variable support area

Особенностью данной кинематической схемы является изменение площади опорной поверхности при движении по слабонесущим грунтам за счет гнутой рамы. Изменение площади пятна контакта происходит за счет углубления конструкции в грунт. Для снижения сопротивления повороту, при движении по плотной поверхности, уменьшается площадь пятна контакта. В данной конструкции отсутствует подрессоривание катков и амортизационное устройство – натяжение ветви гусеницы происходит за счет линейного перемещения направляющего колеса.

Другой вариант кинематической схемы СГХС приведен на рисунке 3.

Основное отличие этой схемы от предыдущей заключается в подрессоривании опорных катков, которое позволит уменьшить вибрацию от опорной поверхности и добиться копирования рельефа, что приведет к более равномерному распределению массы трактора

и, соответственно, к повышенной проходимости и минимальному давлению на почву [16, 17, 18].

Окончательный вариант конструкции СГХС для трактора «Беларус-622» представлен на рисунке 4. В ходе испытаний на опытных полях ФГБНУ «Рязанский НИИСХ» трактора «Беларус-622», оснащенного СГХС, при агрегатировании с сеялкой модели «Деметра», тип 2276, была подтверждена работоспособность опытной конструкции. Полевые испытания проводили на суглинистой почве при работе трактора в междурядье со скоростью выполнения технологической операции 7-9 км/ч. Применяли контрольно-измерительные приборы производства фирмы Zetlab с фиксацией 3-осевых перемещений в элементах конструкции, а также их виброускорений по этим осям. Превышения виброактивности в элементах конструкции МЭС в связи с применением СГХС не обнаружено.

⁵ГОСТ 26954-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Метод определения максимального нормального напряжения в почве. М.: Стандартинформ, 2019. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293726/4293726306.pdf>

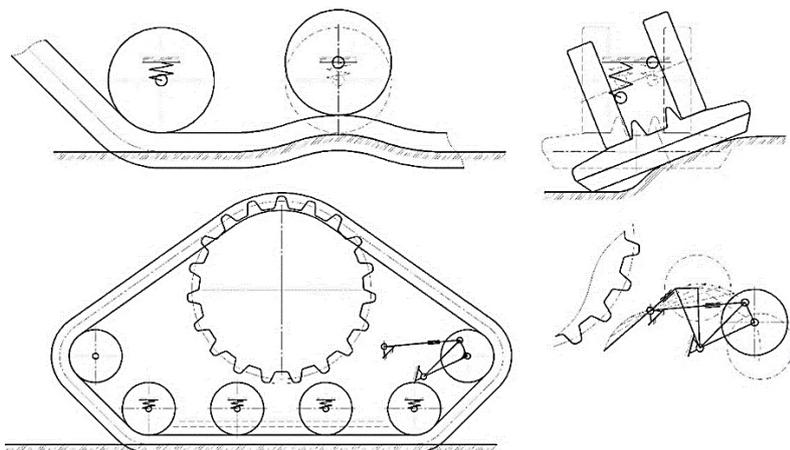


Рис. 3. Кинематическая схема СГХС с системой подрессоривания катков / Fig. 3. Kinematic diagram with variable bearing surface area and roller suspension system



Рис. 4. Опытный образец СГХС на тракторе «Беларус-622» / Fig. 4. Design project of a removable tracked undercarriage system on the “Belarus-622” tractor

Разработку конструкции СГХС и ее отдельных элементов проводили с применением САД-систем в соответствии с нормативными требованиями⁶.

Результаты и их обсуждение. По результатам исследований схемы нагружения СГХС и её напряженно-деформированного состояния проведена оптимизация конструкции –

изменена форма несущих элементов рамы и технология их изготовления с сохранением массово-габаритных характеристик. Схемы и условия нагружения представлены в таблицах 2-7. Результаты моделирования условий нагружений конструкции рамы СГХС приведены на рисунках 5-10.

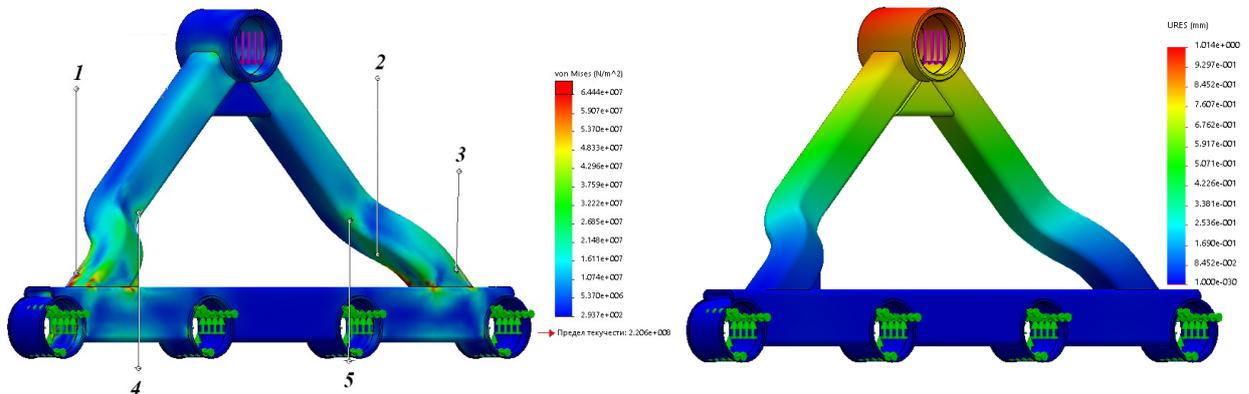
Таблица 2 – Схема и условия нагружения при стоянке трактора на ровной горизонтальной поверхности / Table 2 – Scheme and loading conditions when the tractor is parked on a flat horizontal surface

| Изображение / Image | Условия нагружения / Loading conditions |
|---------------------|--|
| | $F = (0,5 \cdot G_{эт} \cdot 1,3) = 17\,000 \text{ Н},$ <p>где F – сила, приложенная к раме; $G_{эт}$ – эксплуатационный вес трактора, равный 26 000 Н; 1,3 – коэффициент запаса прочности конструкции. Направление действия силы – вертикально вниз, все 4 опорных катка стоят на ровной горизонтальной поверхности / F – the force applied to the frame; $G_{эт}$ – tractor operating weight equal to 26,000 N; 1.3 – is the structure margin safety factor. The force direction is vertically down and all 4 track rollers are on the horizontal surface</p> |

⁶ГОСТ 19677-87. Тракторы сельскохозяйственные. Общие технические условия. М.: ИПК издательство стандартов, 2003. 6 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/75/7507.pdf>

В режиме стоянки трактора на ровной горизонтальной поверхности запас прочности по текучести соблюден (здесь и далее условный предел текучести для материала рамы СГХС

(сталь 10) составляет 233 Мпа) (рис. 5, а). Максимальное перемещение крайней точки корпуса подшипника – 1,014 мм (рис. 5, б).



а) эпюра напряжений / a) stress diagram

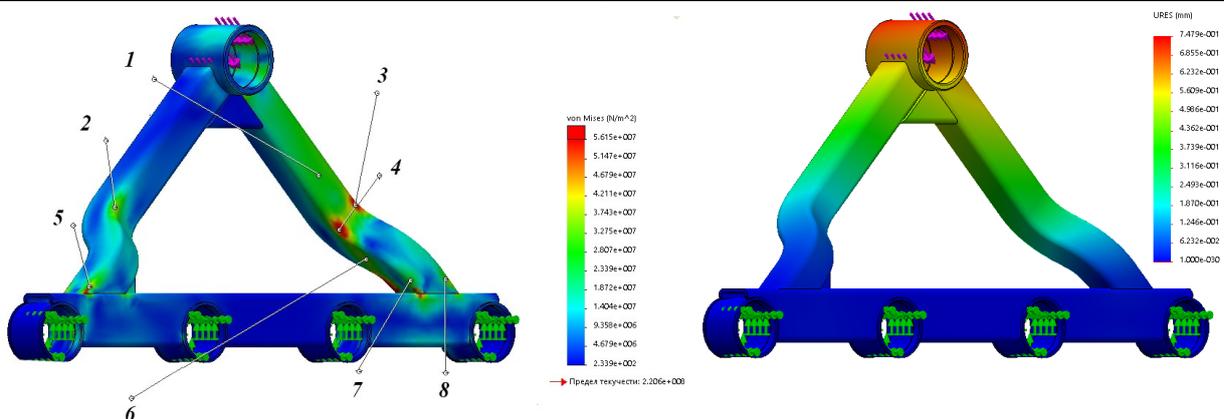
б) эпюра перемещений / b) displacement diagram

Значения, $\frac{H}{M^2}$ / Values, $\frac{H}{M^2}$: 1) $7,262 \cdot 10^7$; 2) $3,015 \cdot 10^7$; 3) $3,093 \cdot 10^7$; 4) $2,981 \cdot 10^7$; 5) $3,188 \cdot 10^7$

Рис. 5. Результаты расчета при стоянке трактора на ровной горизонтальной поверхности / Fig. 5. The result of the calculation when the tractor is parked on a flat horizontal surface

Таблица 3 – Схема и условия нагружения при движении трактора с максимальной силой тяги / Table 3 – Scheme and loading conditions when the tractor is moving with maximum traction force

| Изображение / Image | Условия нагружения / Loading conditions |
|---------------------|--|
| | <p>Сила $F = 17\,000$ Н. Направление приложения силы – 45° к продольной оси, все 4 опорных катка стоят на ровной горизонтальной поверхности / Force $F = 17,000$ N. The force application direction is 45° to longitudinal axis and all 4 track roller are on the horizontal surface</p> |



а) эпюра напряжений / a) stress diagram

б) эпюра перемещений / b) displacement diagram

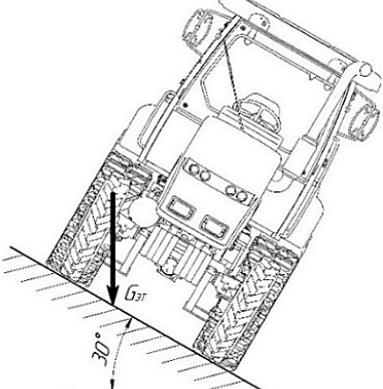
Значения, $\frac{H}{M^2}$ / Values, $\frac{H}{M^2}$: 1) $3,240 \cdot 10^7$; 2) $3,845 \cdot 10^7$; 3) $6,118 \cdot 10^7$; 4) $6,003 \cdot 10^7$; 5) $6,449 \cdot 10^7$; 6) $3,708 \cdot 10^7$; 7) $3,051 \cdot 10^7$; 8) $3,552 \cdot 10^7$

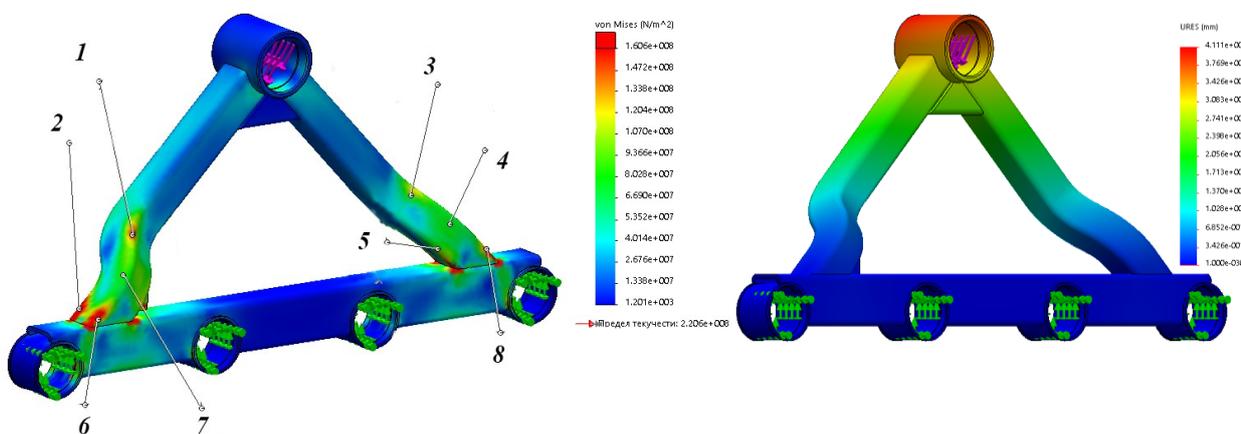
Рис. 6. Результаты расчета при движении трактора с максимальной силой тяги / Fig. 6. The result of the calculation when the tractor is moving with the maximum traction force

Запас прочности по текучести соблюден (рис. 6, а). Максимальное перемещение

крайней точки корпуса подшипника – 0,748 мм (рис. 6, б).

Таблица 4 – Схема и условия нагружения при стоянке трактора поперек уклона в 30° для верхней СГХС / Table 4 – Scheme and loading conditions when the tractor is parked across a slope of 30° for the upper SGHS

| Изображение / Image | Условия нагружения / Loading conditions |
|---|---|
|  | <p>Сила $F = 17\,000$ Н. Направление приложения силы – 30° от вертикали по поперечной оси к центру машины, все 4 опорных катка стоят на плоскости / Force $F = 17,000$ N. The force application direction is 30° from the vertical along the transverse axis to the center of the machine and all 4 track roller are on a plane</p> |



а) эпюра напряжений / a) stress diagram

Значения, $\frac{H}{M^2}$ / Values, $\frac{H}{M^2}$:

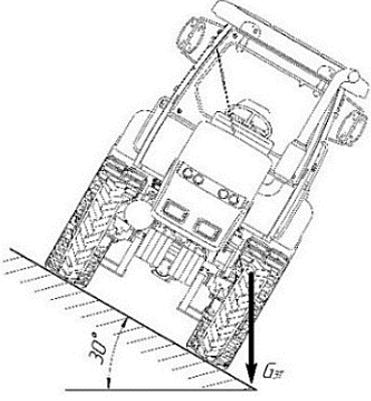
- 1) $1,633 \cdot 10^8$; 2) $2,545 \cdot 10^8$; 3) $1,062 \cdot 10^8$; 4) $9,070 \cdot 10^7$;
 5) $1,006 \cdot 10^8$; 6) $2,156 \cdot 10^8$; 7) $9,827 \cdot 10^7$; 8) $1,616 \cdot 10^8$

б) эпюра перемещений / b) displacement diagram

Рис. 7. Результаты расчета при стоянке трактора поперек уклона в 30° для верхней СГХС /

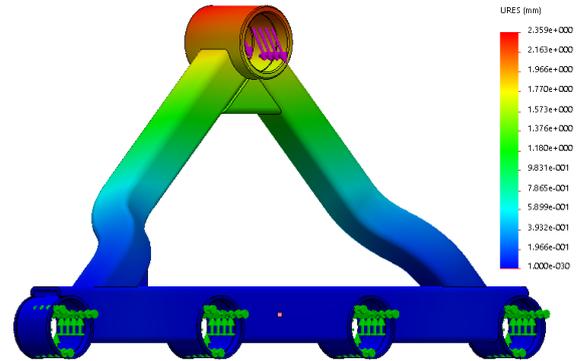
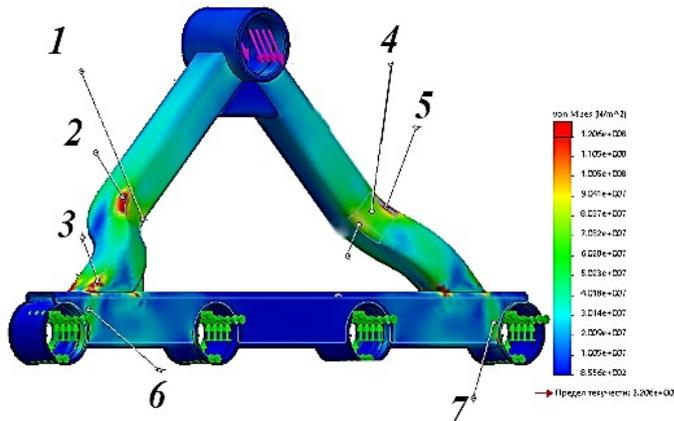
Fig. 7. The result of the calculation when the tractor is parked across a slope of 30° for the upper SGHS

Таблица 5 – Схема и условия нагружения при стоянке трактора поперек уклона в 30° для нижней СГХС / Table 5 – Scheme and loading conditions when the tractor is parked across a slope of 30° for the lower SGHS

| Изображение / Image | Условия нагружения / Loading conditions |
|---|--|
|  | <p>Сила $F = 17\,000$ Н. Направление приложения силы – 30° от вертикали по поперечной оси от центра машины, все 4 опорных катка стоят на плоскости / Force $F = 17,000$ N. The force application direction is 30° from the vertical along the transverse axis to the center of the machine and all 4 track roller are on a plane</p> |

Запас прочности по текучести соблюден (рис. 7, а). Максимальное перемещение крайней точки корпуса подшипника – 4,11 мм (рис. 7, б).

Запас прочности по текучести соблюден (рис. 8, а). Максимальное перемещение крайней точки корпуса подшипника – 2,359 мм (рис. 8, б)



а) эпюра напряжений / a) stress diagram

б) эпюра перемещений / b) displacement diagram

Значения, $\frac{H}{M^2}$ / Values, $\frac{H}{M^2}$: 1) $1,016 \cdot 10^8$; 2) $1,218 \cdot 10^8$; 3) $1,371 \cdot 10^8$;
4) $7,031 \cdot 10^7$; 5) $1,237 \cdot 10^8$; 6) $5,551 \cdot 10^7$; 7) $7,517 \cdot 10^7$

Рис. 8. Результаты расчета при стоянке трактора поперек уклона в 30° для нижней СГХС /

Fig. 8. The result of the calculation when the tractor is parked across a slope of 30° for the lower SGHS

Запас прочности по текучести соблюден (рис. 9, а). Максимальное перемещение крайней точки корпуса подшипника – 0,99 мм (рис. 9, б).

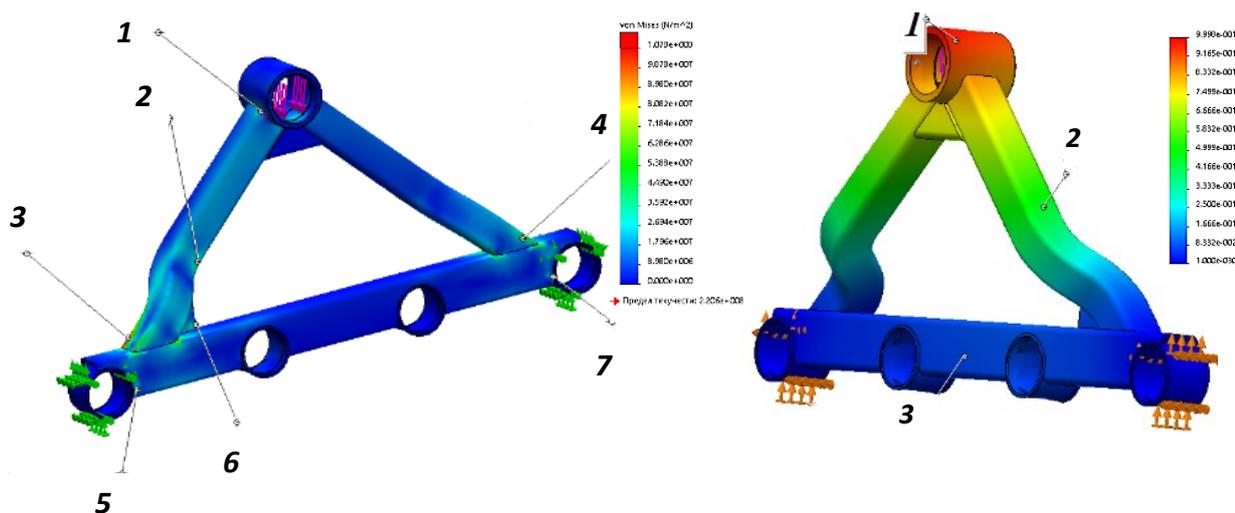
Запас прочности по текучести соблюден (рис. 10, а). Максимальное перемещение крайней точки корпуса подшипника – 1,326 мм (рис. 10, б).

Таблица 6 – Схема и условия нагружения при заезде трактора на препятствие с отклонением СГХС на 15° и опорой на крайние катки /
Table 6 – Scheme and loading conditions when a tractor drives into an obstacle with a SHGS deviation of 15° and support on the outer rollers

| Изображение / Image | Условия нагружения / Loading conditions |
|---------------------|---|
| | Сила $F = 17\,000$ Н. Направление приложения силы – 15° от вертикали по продольной оси трактора, касание опорной поверхности двумя крайними катками / Force $F = 17,000$ N. The force application direction is 15° from the vertical along the longitudinal axis with touching a support surfaces with the two outer rollers |

Таблица 7 – Схема и условия нагружения при проезде трактором препятствия с опорой на центральные катки /
Table 7 – Scheme and loading conditions when the tractor passes through obstacles supported by central rollers

| Изображение / Image | Условия нагружения / Loading conditions |
|---------------------|---|
| | Сила $F = 17\,000$ Н. Направление приложения силы – вертикально вниз, касание опорной поверхности двумя центральными катками / Force $F = 17,000$ N. The force application direction is vertically downward and the supporting surface is touched by the two central rollers |



а) эпюра напряжений / a) stress diagram

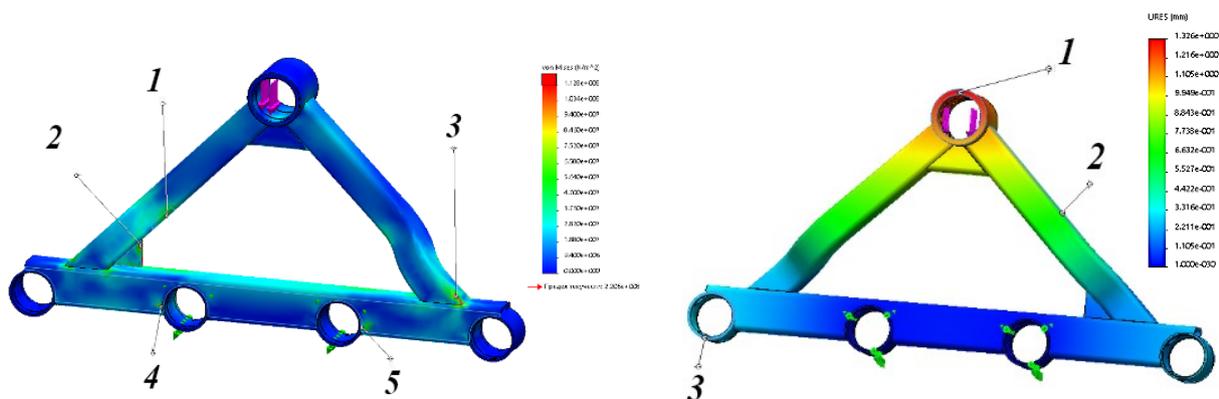
Значения, $\frac{H}{M^2}$ / Values, $\frac{H}{M^2}$:

- 1) $3,757 \cdot 10^7$; 2) $4,324 \cdot 10^7$; 3) $1,429 \cdot 10^8$; 4) $4,372 \cdot 10^7$;
5) $4,232 \cdot 10^7$; 6) $5,724 \cdot 10^7$; 7) $1,320 \cdot 10^7$

б) эпюра перемещений / b) displacement diagram

Рис. 9. Результаты расчета при заезде трактора на препятствие с отклонением СХГС на 15° и опорой на крайние катки /

Fig. 9. The result of the calculation when the tractor drives over an obstacle with a SHGS deviation of 15° and support on the outer rollers



а) эпюра напряжений / a) stress diagram

Значения, $\frac{H}{M^2}$ / Values, $\frac{H}{M^2}$:

- 1) $6,407 \cdot 10^7$; 2) $1,197 \cdot 10^8$;
3) $1,851 \cdot 10^8$; 4) $9,821 \cdot 10^7$; 5) $1,096 \cdot 10^8$

б) эпюра перемещений / b) displacement diagram

Рис. 10. Результат расчета условий нагружения при переезде трактора через препятствие с опорой на центральные катки /

Fig. 10. The result of the calculation when the tractor is moving over the obstacles supported by central rollers

Расчет сварных соединений рамы проводили при условии максимального нагружения – приложение всего веса, приходящегося на задний мост (20 000 Н) на один борт. При этом суммарная поперечная сила, действующая на сварные швы рамы СГХС, равна 35100 Н.

Расчетные исследования по воздействию давления на почву сменных полугусеничных движителей в сравнении с колесным вариантом показывают увеличение пятна контакта движителя с грунтом не менее чем в 1,8 раза, при эксплуатационной массе полнокомплектного трактора около 2700 кг. Согласно

ГОСТ Р 58656-2019⁷, можно утвердить пропорциональное уменьшение максимального давления на почву от полугусеничных движителей.

Выводы.

1. Расчеты напряженно-деформированного состояния СГХС методом конечных элементов показали, что средняя величина напряжений по всем видам нагружения не превысила 100 МПа, обеспечивая двукратный запас прочности конструкции с учетом характеристик выбранного конструкционного материала. При максимально нагруженном состоянии СГХС – стоянка поперек уклона 30°, наибольшее напряжение в конструкции было зафиксировано на верхнем борту трактора, и составило 161 МПа при запасе прочности 1,45.

2. По результатам полевых испытаний установлено: разработанный опытный образец сменных полугусениц доказал свою достаточную прочность и работоспособность в составе полнокомплектного МЭС при тяжелых режимах нагружения.

3. Результаты расчетно-экспериментальных исследований показывают эффективность и достоверность применения метода конечных элементов для оценки напряженно-деформированного состояния пространственной модели элементов конструкции СГХС.

4. Применение сменных полугусеничных ходовых систем взамен колес на сельскохозяйственных МЭС улучшает их функциональные и эксплуатационные характеристики: по проходимости, тягово-сцепным свойствам, а также по давлению на почву не менее чем в 1,8 раза.

Список литературы

1. Fashutdinov M., Khafizov K., Galiev I., Gabdrafikov F., Khaliullin F. Research of dynamics of turning of machine-tractor aggregate with tractor on wheeled-crawler mover. BIO Web of Conferences. 2020;17:00056. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700056>
2. Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S. Fundamental realization of longitudinal slip efficiency of tractor wheels in a tillage practice. Soil and Tillage Research. 2021;205:104765. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104765>
3. Fang Yu., Zhang Yu., Li N., Shang Y. Research on a medium-tracked omni-vehicle. Mechanical Sciences. 2020;11(1):137-152. DOI: <https://doi.org/10.5194/ms-11-137-2020>
4. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Tractor Hitching, Traction, and Testing. Chapter 7. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd ed., pp. 139-168 St. Joseph, Michigan: ASABE. 2006. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, Mich. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.41469>
5. García-Tomillo A., de Figueiredo T., Dafonte Dafonte J., Almeida A., Paz-González A. Effects of machinery trafficking in an agricultural soil assessed by Electrical Resistivity Tomography (ERT). Open Agriculture. 2018;3(1):378-385. DOI: <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0042>
6. Seguel O., Díaz D., Acevedo E., Silva P., Homer I., Seitz S. Hydraulic Conductivity in a Soil Cultivated with Wheat-Rapeseed Rotation Under Two Tillage Systems. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2020;20:2304-2315. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00296-w>
7. Ezzati S., Najafi A., Rab M. A., Zenner E. K. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. Silva Fennica. 2012;46(4):521-538. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.908>
8. Kumar A. A., Tewari V. K., Nare B. Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research. Computers and Electronics in Agriculture. 2016;127:38-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.05.010>
9. Damanauskas V., Janulevičius A., Pupinis G. Influence of extra weight and tire pressure on fuel consumption at normal tractor slippage. Journal of Agricultural Science. 2015;7(2):55-67. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v7n2p55>
10. Marsili A., Servadio P. Compaction effects of rubber or metal-tracked tractor passes on agricultural soils. Soil and Tillage Research. 1996;37(1):37-45. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00514-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00514-5)
11. Li Sh., Zhang J., Du Yu. Vibration analysis and simulation verification for suspension of track tractor. AIP Conference Proceedings. 2019;2154:020041. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5125369>
12. Hawkins E. M., Buckmaster D. R. Benchmarking costs of fixed-frame, articulated, and tracked tractors Applied Engineering in Agriculture. 2015;31(5):741-745. DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.31.11074>

⁷ГОСТ Р 58656-2019. Техника сельскохозяйственная мобильная. Методы определения воздействия движителей на почву. М.: Стандартинформ, 2019. 24 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/724/72400.pdf>

13. Измайлов А. Ю., Годжаев З. А., Крюков М. Л., Наумов Ю. Н. Сменный гусеничный движитель колесного транспортного средства: пат. № 2652282 Российская Федерация. № 2017119225: заявл. 02.06.2017; опубл. 25.04.2018. Бюл. 12. 17 с. Режим доступа: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
14. Федоткин Р. С., Крючков В. А., Бейненсон В. Д., Парфенов В. Л. Методика проектирования ведущих колес цевочного зацепления с резиноармированными гусеницами тяговых и транспортных машин. Тракторы и сельхозмашины. 2017;(3):24-32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29385765> EDN: YTVGRH
15. Даштиев И. З. Конструкции элементов ходовой части быстроходных гусеничных машин. М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. 108 с.
16. Федоткин Р. С., Бейненсон В. Д., Крючков В. А., Шарипов В. М., Щетинин Ю. С. Резиноармированные гусеницы сельскохозяйственных тракторов. Жесткость при растяжении и изгибе. Известия МГТУ "МАМИ". 2016;(2(28)):32-38. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26180300> EDN: WAXMOD
17. Измайлов А. Ю., Годжаев З. А., Русанов А. В., Кузьмин В. А. Экологическая безопасность системы «механизированное средство – почва – урожай». Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. 2017;(5-1):75-79. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28997441> EDN: YKOIFX
18. Годжаев З. А., Евтюшенков Н. Е. Снижение воздействия ходовых систем на почву. Сельский механизатор. 2016;(8):38-39.

References

1. Fashutdinov M., Khafizov K., Galiev I., Gabdrafikov F., Khaliullin F. Research of dynamics of turning of machine-tractor aggregate with tractor on wheeled-crawler mover. BIO Web of Conferences. 2020;17:00056. DOI: <https://doi.org/10.1051/bioconf/20201700056>
2. Shafaei S. M., Loghavi M., Kamgar S. Fundamental realization of longitudinal slip efficiency of tractor wheels in a tillage practice. Soil and Tillage Research. 2021;205:104765. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104765>
3. Fang Yu., Zhang Yu., Li N., Shang Y. Research on a medium-tracked omni-vehicle. Mechanical Sciences. 2020;11(1):137-152. DOI: <https://doi.org/10.5194/ms-11-137-2020>
4. Srivastava A. K., Goering C. E., Rohrbach R. P., Buckmaster D. R. Tractor Hitching, Traction, and Testing. Chapter 7. Engineering Principles of Agricultural Machines, 2nd ed., pp. 139-168 St. Joseph, Michigan: ASABE. 2006. American Society of Agricultural and Biological Engineers. St. Joseph, Mich. DOI: <https://doi.org/10.13031/2013.41469>
5. García-Tomillo A., de Figueiredo T., Dafonte Dafonte J., Almeida A., Paz-González A. Effects of machinery trafficking in an agricultural soil assessed by Electrical Resistivity Tomography (ERT). Open Agriculture. 2018;3(1):378-385. DOI: <https://doi.org/10.1515/opag-2018-0042>
6. Seguel O., Díaz D., Acevedo E., Silva P., Homer I., Seitz S. Hydraulic Conductivity in a Soil Cultivated with Wheat-Rapeseed Rotation Under Two Tillage Systems. Journal of Soil Science and Plant Nutrition. 2020;20:2304-2315. DOI: <https://doi.org/10.1007/s42729-020-00296-w>
7. Ezzati S., Najafi A., Rab M. A., Zenner E. K. Recovery of soil bulk density, porosity and rutting from ground skidding over a 20-year period after timber harvesting in Iran. Silva Fennica. 2012;46(4):521-538. DOI: <https://doi.org/10.14214/sf.908>
8. Kumar A. A., Tewari V. K., Nare B. Embedded digital draft force and wheel slip indicator for tillage research. Computers and Electronics in Agriculture. 2016;127:38-49. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.05.010>
9. Damanauskas V., Janulevičius A., Pupinis G. Influence of extra weight and tire pressure on fuel consumption at normal tractor slippage. Journal of Agricultural Science. 2015;7(2):55-67. DOI: <https://doi.org/10.5539/jas.v7n2p55>
10. Marsili A., Servadio P. Compaction effects of rubber or metal-tracked tractor passes on agricultural soils. Soil and Tillage Research. 1996;37(1):37-45. DOI: [https://doi.org/10.1016/0167-1987\(95\)00514-5](https://doi.org/10.1016/0167-1987(95)00514-5)
11. Li Sh., Zhang J., Du Yu. Vibration analysis and simulation verification for suspension of track tractor. AIP Conference Proceedings. 2019;2154:020041. DOI: <https://doi.org/10.1063/1.5125369>
12. Hawkins E. M., Buckmaster D. R. Benchmarking costs of fixed-frame, articulated, and tracked tractors. Applied Engineering in Agriculture. 2015;31(5):741-745. DOI: <https://doi.org/10.13031/aea.31.11074>
13. Izmaylov A. Yu., Godzhaev Z. A., Kryukov M. L., Naumov Yu. N. Replaceable caterpillar mover of a wheeled vehicle: patent RF, no. 2018. URL: https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet
14. Fedotkin R. S., Kryuchkov V. A., Beynenson V. D., Parfenov V. L. Design method of pin engagement drive sprockets with rubber-reinforced tracks of traction and transportation vehicles. *Traktory i sel'khoz mashiny*. 2017;(3):24-32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29385765>

15. Dashtiev I. Z. Structures of elements of the undercarriage of high-speed tracked vehicles. Moscow: *Izd-vo MGTU im. N. E. Baumana*, 2003. 108 p.
16. Fedotkin R. S., Beynenson V. D., Kryuchkov V. A., Sharipov V. M., Shchetinin Yu. S. Rubber-reinforced caterpillar tracks of agricultural tractors. stiffness at tension and bending. *Izvestiya MGTU "MAMI"*. 2016;(2(28)):32-38. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=26180300>
17. Izmaylov A. Yu., Godzhaev Z. A., Rusanov A. V., Kuzmin V. A. Ecological safety of the "mechanized means – the soil – a harvest" system. *Aktual'nye problemy gumanitarnykh i estestvennykh nauk*. 2017;(5-1):75-79. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28997441>
18. Godzhaev Z. A., Evtyushenkov N. E. Decreasing the effect of the chassis system on the soil. *Sel'skiy mekhanizator*. 2016;(8):38-39. (In Russ.).

Сведения об авторах

- ✉ **Годжаев Захид Адыгезал оглы**, доктор техн. наук, профессор, член-корреспондент РАН, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>, e-mail: fic51@mail.ru
- Овчинников Евгений Валентинович**, научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6942-5950>
- Овчаренко Александр Сергеевич**, ведущий инженер, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1407-6757>

Information about the authors

- ✉ **Zakhid A. Godzhaev**, DSc in Engineering, Corresponding member of RAS, professor, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1665-3730>, e-mail: fic51@mail.ru
- Evgeniy V. Ovchinnikov**, researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6942-5950>
- Alexander S. Ovcharenko**, lead engineer, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutskiy proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: vim@vim.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1407-6757>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ПАМЯТИ УЧЕНОГО
КОЗЛОВА ЛЮДМИЛА МИХАЙЛОВНА



3 мая 2023 г. на 65-ом году безвременно ушла из жизни Людмила Михайловна Козлова, доктор сельскохозяйственных наук, заведующий отделом земледелия, агрохимии и мелиорации Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого.

Людмила Михайловна родилась 8 марта 1959 г. в селе Кумены Кировской области. В 1976 г. окончила среднюю общеобразовательную школу в г. Слободском Слободского района Кировской области и поступила в Кировский сельскохозяйственный институт на агрономический факультет, получив 1981 г. специальность «ученый агроном». После окончания ВУЗа начала свою трудовую деятельность в Зональном НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого в должности старшего лаборанта отдела земледелия, в 1997 г. переведена на должность старшего научного сотрудника. В 2001 г. – аттестована на должность ведущего научного сотрудника лаборатории земледелия. С 2003 г. работала заведующим отделом земледелия, агрохимии и мелиорации. Стаж работы в занимаемой должности – 20 лет, общий научно-педагогический стаж – 42 года. По совместительству работала с 1996 г. в Северо-Восточном региональном научном центре Россельхозакадемии ученым

секретарем секции агроэкологии и растениеводства, с 2005 г. – руководителем секции земледелия, агрохимии, мелиорации. Много лет была секретарем методической комиссии технологических лабораторий института. Являлась членом редакционной коллегии и рецензентом научного журнала «Аграрная наука Евро-Северо-Востока».

Научная деятельность Л. М. Козловой была связана с изучением и внедрением научно обоснованных севооборотов и ресурсосберегающих способов обработки почвы в системе земледелия, способствующих сохранению и воспроизводству почвенного плодородия в условиях Северо-Востока европейской части России.

В 1996 г. Людмила Михайловна защитила кандидатскую диссертацию в Нижегородской сельскохозяйственной академии, в 2004 г. – докторскую на тему «Агроэкологическая, экологическая и энергетическая оценка влияния видов полевых севооборотов на плодородие почв и продуктивность агрофитоценозов в Северо-Восточном регионе Нечерноземной зоны РФ».

Людмила Михайловна является автором более 190 научных работ, под ее руководством было защищено 6 кандидатских и одна докторская диссертации.

Под руководством Л. М. Козловой разработаны адаптивно-ландшафтные системы земледелия для 45 хозяйств Кировской области на площади более 260 тыс. га с.-х. угодий, велась работа по их корректировке и совершенствованию. В 2010 году Л. М. Козловой присуждена Премия Кировской области по сельскому хозяйству как руководителю работы «Разработка и внедрение адаптивно-ландшафтных систем земледелия в хозяйствах Кировской области».

Мы знали Людмилу Михайловну как красивую сильную и целеустремленную женщину, увлеченную наукой, душевного и отзывчивого человека. Ей удалось объединить ученых региона Евро-Северо-Востока для выполнения НИР комплексного характера, она вдохновляла, поддерживала, помогала как молодым, так и «маститым» ученым в подготовке диссертационных работ, обеспечила преемственность поколений исследователей в своем отделе, не теряла связи с ветеранами института, была центром притяжения для многих людей.

Все делалось Людмилой Михайловной творчески,
с любовью к жизни – такой она и останется в нашей памяти.

ПЕРМСКИЙ НИИСХ - 110 лет на службе сельскохозяйственной науки

В 2019 году в институте создана молодежная лаборатория прецизионных технологий в сельском хозяйстве.



Сотрудники лаборатории точного земледелия

Цель исследований - разработать приёмы управления продукционным процессом сельскохозяйственных культур на основе использования данных дистанционного зондирования Земли (космическая и аэросъемка), геоинформационных систем и математико-картографического моделирования свойств почв.

По результатам многолетних исследований с кормовыми культурами в институте создано новое направление в кормопроизводстве: производство биологически активных кормов. Разработаны технологии возделывания и использования в кормлении с.-х. животных культур двойного действия (левзея сафлоровидная, козлятник восточный, эспарцет песчаный, астрагал нутовый), обладающих ценными кормовыми качествами и содержащих иммуностимулирующие вещества.



Травостой левзеи сафлоровидной

ПЕРМСКИЙ НИИСХ - 110 лет на службе сельскохозяйственной науки



Лаборатория была создана в 2019 году в Пермском федеральном научном центре Уральского отделения Российской академии наук. С 2022 года молодежная лаборатория вошла в состав Пермского НИИСХ.

Основным направлением деятельности лаборатории является всестороннее изучение процессов, происходящих в растениях под действием света различных характеристик.

Объекты исследования – источники излучения, живые системы и их компоненты (растения, бактериальные и эукариотические клетки, ДНК).



Исследования проводятся в тесном сотрудничестве с лабораторией картофеля. На аэропонных установках и в специальных гроубоксах на растениях картофеля изучаются различные аспекты искусственного освещения, типы светодиодных светильников.

