

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

# Аграрная наука Евро-Северо-Востока

AGRICULTURAL SCIENCE EURO-NORTH-EAST

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



Том 25  
№ 6  
2024

Vol. 25  
No. 6  
2024

© Учредитель журнала – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудникова»

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

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

Регистрационный номер  
ПИ №ФС77-72290  
от 01.02.2018 г.

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

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

## Рубрики журнала:

- ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ
- ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ (Растениеводство. 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,  
Агалакова Татьяна Владимировна – к.б.н., старший научный сотрудник лаборатории ветеринарной иммунологии, ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия

## Редакционный совет

- |  |   |
|--|---|
| <b>Андреев<br/>Николай Руфеевич</b>      | 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  |
| <b>Багиров<br/>Вугар Алиевич</b>         | д.б.н., профессор, чл.-корр. РАН, директор Департамента координации деятельности организаций в сфере сельскохозяйственных наук Минобрнауки России, г. Москва, Россия  |
| <b>Баталова Галина<br/>Аркадьевна</b>    | д.с.-х.н., профессор, академик РАН, зам. директора по селекционной работе, зав. отделом овса ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Киров, Россия  |
| <b>Гурьянов Александр<br/>Михайлович</b> | д.с.-х.н., профессор, главный специалист по коммуникациям и инновациям, главный научный сотрудник Мордовского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, г. Саранск, Россия   |
| <b>Дёгтева Светлана<br/>Владимировна</b> | д.б.н., чл.-корр. РАН, директор ФИЦ Коми научный центр УрО РАН, г. Сыктывкар, Россия  |
| <b>Джавадов<br/>Эдуард Джавадович</b>    | 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   |
| <b>Дидманидзе<br/>Отари Назирович</b>    | д.т.н., профессор, академик РАН, заслуженный деятель науки РФ, зав. кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К. А. Тимирязева», г. Москва, Россия  |
| <b>Домский Игорь<br/>Александрович</b>   | 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  |
| <b>Еремин<br/>Сергей Петрович</b>        | д.в.н., профессор, заведующий кафедрой частной зоотехнии, разведения с.-х. животных и акusherства ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия  |
| <b>Иванов Дмитрий<br/>Анатольевич</b>    | 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   |
| <b>Казакевич<br/>Пётр Петрович</b>       | д.т.н., профессор, чл.-корр. НАН Беларуси, зам. председателя Президиума НАН Беларуси, иностранный член РАН, г. Минск, Республика Беларусь   |
| <b>Косолапов Владимир<br/>Михайлович</b> | д.с.-х.н., профессор, академик РАН, научный руководитель ФГБНУ «Федеральный научный центр кормопроизводства и агроэкологии имени В. Р. Вильямса», г. Москва, Россия   |
| <b>Костяев Александр<br/>Иванович</b>    | 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 |
| <b>Куликов<br/>Иван Михайлович</b>       | д.э.н., профессор, академик РАН, директор ФГБНУ «Федеральный научный селекционно-технологический центр садоводства и питомниководства», г. Москва, Россия   |
| <b>Леднев<br/>Андрей Викторович</b>      | д.с.-х.н., доцент, главный научный сотрудник, руководитель Удмуртского НИИСХ – структурного подразделения ФГБНУ «Удмуртский ФИЦ УрО РАН», г. Ижевск, Россия   |
| <b>Никонова Галина<br/>Николаевна</b>    | 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        |
| <b>Пашкина<br/>Юлия Викторовна</b>       | д.в.н., профессор, и.о. зав. кафедрой эпизоотологии, паразитологии и ветеринарно-санитарной экспертизы ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия   |

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

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

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

Оформить подписку можно на  
сайте "Объединенного каталога  
"Пресса России" [www.pressa-rr.ru](http://www.pressa-rr.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](http://www.agronauka-sv.ru)

E-mail:  
[agronauka-esv@fanc-sv.ru](mailto:agronauka-esv@fanc-sv.ru)

Техническая редакция,  
верстка И. В. Кодочигова

Макет обложки  
Н. Н. Соболева

Подписано к печати  
24.12.2024

Дата выхода в свет  
28.12.2024

Формат 60x84<sup>1/8</sup>.  
Бумага офсетная.  
Усл. печ. л. 28,13.

Тираж 100 экз. Заказ 35.  
Свободная цена

Отпечатано с оригинал-макета

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

Савченко  
Иван Васильевич

Самodelкин  
Александр  
Геннадьевич

Сисягин  
Павел Николаевич

Титова  
Вера Ивановна

Токарев  
Антон Николаевич

Урбан  
Эрома Петрович

Широких  
Ирина Геннадьевна

Щенникова  
Ирина Николаевна

Changzhong Ren

Ivanovs Semjons

Marczuk Andrzej

Náhlik András

Poutanen Kaisa

Romaniuk Wazlaw

Yu Li

Алешкин Алексей  
Владимирович

Артёмьев Андрей  
Александрович

Брандорф  
Анна Зиновьевна

Бурков Александр  
Иванович

Егошина Татьяна  
Леонидовна

Ивановский  
Александр  
Александрович

Костенко Ольга  
Владимировна

Рябова Ольга  
Вениаминовна

Савельев  
Александр  
Павлович

Товстик Евгения  
Владимировна

Филатов  
Андрей Викторович

Шешегова  
Татьяна Кузьмовна

Юнусов Губейдулла  
Сибяттулович

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

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

д.в.н., профессор, чл.-корр. РАН, ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный  
агротехнологический университет», г. Нижний Новгород, Россия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

### Редакционная коллегия

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

Registration number  
PI №FS 77-72290 01 Feb 2018

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

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

#### Headings

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

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



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

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

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

Tatyana V. Agalakova, Cand. of Sci. (Biology), senior researcher at the laboratory veterinary immunology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia

#### Editorial council

- |                              |   |
|------------------------------|---|
| <b>Nikolay R. Andreev</b>    | 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   |
| <b>Vugar A. Bagirov</b>      | 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  |
| <b>Galina A. Batalova</b>    | 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   |
| <b>Alexander M. Guryanov</b> | Dr. of Sci. (Agricultural), professor, chief Communications and Innovation Specialist, chief researcher of the Mordovia Agricultural Research Institute – Branch of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Saransk, Russia   |
| <b>Svetlana V. Degteva</b>   | Dr. of Sci. (Biology), corresponding member of RAS, the Director of the Federal Research Center Komi Scientific Center of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Syktyvkar, Russia   |
| <b>Eduard D. Dzhavadov</b>   | 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   |
| <b>Otari N. Didmanidze</b>   | Dr. of Sci. (Engineering), professor, academician of RAS, Honored Worker of Science of the Russian Federation, Acting Head of the Department of Tractors and Automobiles, Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia  |
| <b>Igor A. Domskiy</b>       | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, corresponding member of RAS, Director at Professor Zhitkov Russian Research Institute of Game Management and Fur Farming, Kirov, Russia  |
| <b>Sergey P. Eremin</b>      | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, Head of the Department of Small Animal Science, Breeding of Farm Animals and Obstetrics of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia   |
| <b>Dmitriy A. Ivanov</b>     | 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   |
| <b>Petr P. Kazakevich</b>    | 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   |
| <b>Vladimir M. Kosolapov</b> | Dr. of Sci. (Agricultural), the professor, academician of RAS, the Academic advisor of the Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, Moscow, Russia  |
| <b>Aleksandr I. Kostjaev</b> | 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 |
| <b>Ivan M. Kulikov</b>       | Dr. of Sci. (Economics) professor, academician of RAS, Director of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery, Moscow, Russia  |
| <b>Andrei V. Lednev</b>      | 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   |
| <b>Galina N. Nikonova</b>    | 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                                 |
| <b>Yulia V. Pashkina</b>     | Dr. of Sci. (Veterinary), professor, the acting head at the Department of Epizootology, Parasitology and Veterinary-Sanitary Inspection of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia  |



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

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

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

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

One can subscribe for the print edition of the journal «Agricultural Science Euro-North-East» at the site of the Union catalogue «Press of Russia» [www.pressa-rf.ru](http://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](http://www.agronauka-sv.ru)

E-mail: [agronauka-esv@fanc-sv.ru](mailto:agronauka-esv@fanc-sv.ru)

Technical edition, layout  
Irina V. Kodochigova

Cover layout  
Natalia N. Soboleva

Passed for printing  
24.12.2024

**Date of publication**  
28.12.2024

Format 60x84<sup>1/8</sup>. Offset paper.  
Cond. pecs. 1. 28.13.  
Circulation 100 copies. Order 35.  
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. Sisayagin** Dr. of Sci. (Veterinary), the professor, corresponding member of RAS, Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
- Vera I. Titova** Dr. of Sci. (Agricultural), Honored Worker of Science of the Russian Federation, professor, Head of the Department of Agrochemistry and Agroecology of Nizhny Novgorod State Agrotechnological University, Nizhny Novgorod, Russia
- Anton N. Tokarev** Dr. of Sci. (Veterinary), associate professor, Head of the Department of Veterinary-Sanitary Inspection Saint-Petersburg State Academy of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia
- Eroma P. Urban** Dr. of Sci. (Agricultural), professor, corresponding member of Belarus NAS, Deputy General Director for Research, Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Arable Farming, Zhodino, Republic of Belarus
- Irina G. Shirokikh** Dr. of Sci. (Biology), chief researcher, Head of the Laboratory of Biotechnology of Plants and Microorganisms of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Irina N. Shchennikova** Dr. of Sci. (Agricultural), associate professor, corresponding member of RAS, chief researcher, Head of the Laboratory of Selection and Primary Seed Breeding of Barley of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Kirov, Russia
- Changzhong Ren** President of the Baicheng Academy of Agricultural Sciences (China), a foreign member of RAS, Baicheng, China
- Semjons Ivanovs** Dr. of Sci. (Engineering), Latvia University of Life Sciences and Technologies, Jelgava, Latvia
- Andrzej Marczuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, dean, University of Life Sciences in Lublin, Lublin, Poland
- András Náhlik** The professor, rector, University of Sopron, Institute of Wildlife Management and Vertebrate Zoology, Sopron, Hungary
- Kaisa Poutanen** Dr. of Sci. (Engineering), Academy Professor, VTT Technical Research Centre of Finland, Espoo, Finland
- Vaclav Romaniuk** Dr. of Sci. (Engineering), professor, Institute of Technology and Life Sciences, Falenty, Poland
- Li Yu** professor, chief scientific officer, Jilin Agricultural University, foreign member of RAS, member of the Chinese Academy of Sciences, Changchun, China

### Editorial Board

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

*А. С. Невзев*

Анализ эффективности методов экологического мониторинга поверхностных водоемов в условиях их эвтрофирования со стороны объектов сельского хозяйства (обзор)..... 969

*Т. Ю. Беспалова, А. А. Глазунова.* Африканская чума свиней: вирусоносительство и роль выживших диких кабанов в сохранении и распространении инфекции (обзор)..... 988

### ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

#### РАСТЕНИЕВОДСТВО

*Е. В. Зуев, Т. В. Лебедева, Л. Г. Тырышкин.* Ювенильная устойчивость районированных в Российской Федерации и перспективных сортов тритикале к грибным листовым болезням..... 1000

*Т. В. Шайкова, М. В. Дятлова, А. А. Кузьмин*  
Влияние агротехнических факторов на продуктивность полбы в условиях Северо-Запада РФ..... 1009

*И. В. Лыскова, П. В. Пермяков, Е. И. Кратюк*  
Результаты изучения коллекционных сортов и новых селекционных номеров картофеля по хозяйственно полезным признакам..... 1019

#### СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ

*О. Н. Шуплецова, Е. В. Товстик, Д. В. Попыванов*

Адаптация к почве стерильных растений пшеницы в условиях прикорневой обработки экзометаболитами базидиальных грибов..... 1028

*А. В. Бакулина, Е. В. Товстик, Е. А. Бессолицына, Н. В. Новоселова, Н. С. Жемчужина*  
Биологические особенности различных штаммов стрептомицетов как потенциальных агентов биоконтроля фитопатогенов..... 1038

#### ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ

*А. В. Будова, С. А. Урубков, С. О. Смирнов*

Исследование химического состава безглютеновых зерновых батончиков и применение расчетного метода оценки гликемического индекса и гликемической нагрузки..... 1050

*А. Ю. Шариков, В. В. Иванов, М. В. Амелякина, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, Е. М. Серба*  
Экструдирование смеси рисовой крупы и гидролизата жмыха брусники: влияние фактора влагосодержания на характеристики экструдата..... 1059

#### ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ

*Е. А. Дёмин, С. С. Миллер.* Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья..... 1069

*А. И. Иванов, Ж. А. Иванова, П. А. Филиппов*  
Эффективность ускоренного окультуривания деградированной агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности..... 1081

*Л. Н. Шихова.* Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой почвы на динамику содержания почвенного органического углерода..... 1090

*Д. А. Дементьев, А. А. Фадеев.* Влияние систем обработки на агрофизические свойства темно-серой лесной почвы и продуктивность звена полевого севооборота..... 1100

*А. К. Свечников, С. А. Замятин*  
Динамика продуктивной влаги в дерново-подзолистой почве при возделывании ярового ячменя..... 1112

#### КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ

*А. В. Платонов, С. В. Ерегина, И. В. Артамонов*

Результаты микотоксикологического мониторинга кормов крупного рогатого скота, заготовленных в Вологодской области... 1124

#### ЗООТЕХНИЯ

*Н. В. Шадрин, П. С. Остапчук, Т. А. Куведя, А. В. Празукин, Ю. К. Фирсов, Д. Д. Гассиев, Д. В. Зубоченко, Е. В. Ануфриева*

Влияние добавок нитчатой зелёной водоросли *Cladophora* в рацион кроликов на показатели крови..... 1137

*А. В. Харламов, А. Н. Фролов, В. В. Ильин*  
Мясная продуктивность и качество мяса бычков чёрно-пёстрой породы, получавших с рационом цинк и селен органической формы..... 1147

#### ВЕТЕРИНАРНАЯ МЕДИЦИНА

*Н. А. Латушкина.* Воздействие Фитостимплос на биохимические показатели крови, среднесуточный прирост и устойчивость к заболеваниям телят..... 1156

*А. М. Долгорукова, М. С. Тишенкова, И. М. Гупало*  
Эффективность применения *in ovo* декстрина и L-карнитина при тепловом стрессе в инкубационном периоде на показатели эмбрионального развития и рост цыплят-бройлеров..... 1163

#### МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ

*М. В. Беляков, Е. А. Никитин*

Применимость метода инфракрасной спектроскопии среднего диапазона для установления качественных показателей комбикорма..... 1171

*В. В. Гордеев, Т. И. Гордеева, Т. Ю. Миронова, С. В. Ковалёв*  
Алгоритм расчета расхода воды на молочной ферме КРС с привязным и беспривязным содержанием при доении в доильных залах..... 1179

#### ЭКОНОМИКА

*С. В. Киселев, С. К. Сеитов, В. А. Самсонов, И. В. Филимонов*

Теневая экономика в сельском хозяйстве и специфика ее измерения..... 1191

## CONTENTS

### REVIEWS

*Alexey S. Nevaev*

Effectiveness analysis of surface reservoirs environmental monitoring methods in conditions of their eutrophication by agricultural facilities (review)..... 969

*Tatiana Yu. Besspalova, Anastasia A. Glazunova*

African swine fever: virus carriage and the role of surviving wild boar in the persistence and spread of infection (review)..... 988

### ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES

#### PLANT GROWING

*Evgeny V. Zuev, Tatyana V. Lebedeva, Lev G. Tyryshkin*

Juvenile resistance of zoned in the Russian Federation and promising triticale cultivars to leaf fungal diseases..... 1000

*Tatiana V. Shaykova, Marina V. Dyatlova, Andrey A. Kuzmin*

The influence of agronomic factors on the productivity of emmer wheat in the conditions of the North-West of the Russian Federation..... 1009

*Irina V. Lyskova, Pavel V. Permyakov, Elena I. Kratyuk*

The results of study of collection cultivars and potato new breeding numbers according to agronomic traits..... 1019

#### AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

*Olga N. Shupletsova, Evgeniya V. Tovstik, Dmitry V. Popyvanov*

Adaptation of sterile wheat plants to soil under conditions of root treatment with exometabolites of basidiomycetes..... 1028

*Anna V. Bakulina, Evgeniya V. Tovstik, Ekaterina A. Bessolitsyna, Nina V. Novoselova, Natalya S. Zhemchuzhina*

Biological features of various streptomyces strains as potential agents of phytopathogens biocontrol..... 1038

#### STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

*Anna V. Budova, Sergey A. Urubkov, Stanislav O. Smirnov*

Study on the chemical composition of gluten-free cereal bars and application of the calculation method for assessing the glycemic index and glycemic load..... 1050

*Anton Yu. Sharikov, Viktor V. Ivanov, Maria V. Amelyakina, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov, Elena M. Serba*

Extrusion of rice grits with lingonberry pomace hydrolysate: moisture content and characteristics of the extrudate..... 1059

#### AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT

*Evgeniy A. Demin, Stanislav S. Miller*

The influence of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals..... 1069

*Alexey I. Ivanov, Zhanna A. Ivanova, Petr A. Filippov*

The effectiveness of accelerated cultivation of degraded agrarian sod-podzolic soil in crop rotations of different intensity..... 1081

*Ludmila N. Shikhova*

Influence of degree of cultivation of sod-podzolic soil on dynamics of content of soil organic carbon..... 1090

*Dmitriy A. Demytyev, Andrey A. Fadeev*

The effect of soil cultivation systems on agronomic and physical properties of dark gray soil and productivity of the field crop rotation link..... 1100

*Alexandr K. Svechnikov, Sergey A. Zamyatin*

Productive moisture dynamics in sod-podzolic soil under spring barley cultivation..... 1112

#### FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

*Andrey V. Platonov, Svetlana V. Eregina, Ivan V. Artamonov*

Results of mycotoxicological monitoring of cattle feed harvested in the Vologda Region..... 1124

#### ZOOTECHNY

*Nikolai V. Shadrin, Pavel S. Ostapchuk, Tatyana A. Kuevda, Alexander V. Prazukin, Yuri K. Firsov,*

*Danil D. Gassiev, Denis V. Zubochenko, Elena V. Anufrieva*

The effect of adding filamentous green algae *Cladophora* to the diet of rabbits on their blood parameters..... 1137

*Anatoly V. Kharlamov, Alexei N. Frolov, Victor V. Ilyin*

Meat productivity and beef quality of Black-and-White bulls fed with zinc and selenium in organic form as part of the diet..... 1147

#### VETERINARY MEDICINE

*Natalia A. Latushkina*

The effect of Phytostimplus on blood biochemical parameters, average daily growth and disease resistance of calves..... 1156

*Anna M. Dolgorukova, Maria S. Tishenkova, Irina M. Gupalo*

The effect of the *in ovo* injections of dextrin and L-carnitine in conditions of thermal stress during the incubation period on the embryonic development and growth of broiler chickens..... 1163

#### MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

*Mikhail V. Belyakov, Evgeny A. Nikitin*

The applicability of the mid-range infrared spectroscopy method to establish the quality indicators of compound feed..... 1171

*Vladislav V. Gordeev, Tatiana I. Gordeeva, Tatyana Y. Mironova, Sergey V. Kovalev*

Algorithm of calculation of water consumption on dairy cattlefarm with tied and loose housing at milking in milking parlors..... 1179

#### ECONOMY

*Sergey V. Kiselev, Sanat K. Seitov, Valery A. Samsonov, Ilya V. Filimonov*

Shadow economy in agriculture and specifics of its measurement..... 1191



## ОБЗОРЫ/REVIEWS

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.969-987>

УДК 631.95:626.81:504.064.36



## Анализ эффективности методов экологического мониторинга поверхностных водоемов в условиях их эвтрофирования со стороны объектов сельского хозяйства (обзор)

© 2024. А. С. Неваев✉

ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», г. Ульяновск, Российская Федерация

*Высокий уровень антропогенного воздействия на почвы пахотных земель и пастбищ привел к их неспособности удерживать и разлагать переносимые с водой поллютанты, включая биогенные вещества. Отдельного внимания при этом заслуживают объекты сельского хозяйства, которые с одной стороны являются крупнейшими водопотребителями во всем мире, а с другой вносят значительный вклад в биогенное загрязнение поверхностных вод. Вследствие стабильного насыщения водоемов биогенными элементами сохраняется угроза повсеместного увеличения биомассы фитопланктона, существенно влияющего на качество водных ресурсов. Несмотря на имеющиеся меры по борьбе с данным явлением, вопрос осуществления экологического мониторинга водных объектов в условиях эвтрофирования остается открытым. В статье приведена краткая характеристика наиболее неблагоприятных, с точки зрения биогенной нагрузки на водоемы, объектов агропромышленного комплекса. Рассмотрены особенности механизма насыщения водной среды биогенными элементами со стороны сельскохозяйственных территорий. Освещены основные методы экологического мониторинга поверхностных вод, дана краткая характеристика их эффективности в условиях эвтрофирования, а также представлен обзор инновационных методов и технических решений в рассматриваемой области. Акцентируется внимание на необходимости создания комплексных систем экологического мониторинга водных объектов, сочетающих полезные свойства трех его основных методов (физико-химического, биологического и дистанционного), а также учитывающих процесс эвтрофирования, в том числе со стороны объектов сельского хозяйства. Разработка подобных комплексов позволит расширить функционал, повысить качество и эффективность экологического мониторинга поверхностных вод, располагающихся вблизи сельскохозяйственных объектов.*

**Ключевые слова:** экология, фитопланктон, водные объекты, агропромышленный комплекс, загрязнение, биогенные вещества

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

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

**Конфликт интересов:** автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Неваев А. С. Анализ эффективности методов экологического мониторинга поверхностных водоемов в условиях их эвтрофирования со стороны объектов сельского хозяйства. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):969–987. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.969-987>

Поступила: 14.06.2024

Принята к публикации: 19.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Effectiveness analysis of surface reservoirs environmental monitoring methods in conditions of their eutrophication by agricultural facilities (review)

© 2024. Alexey S. Nevaev✉

Ulyanovsk State University, Ulyanovsk, Russian Federation

*The high level of anthropogenic impact on the soils of arable lands and pastures has led to their inability to retain and decompose pollutants, including biogenic substances, transported with water. At the same time, agricultural facilities deserve special attention, which on the one hand are the largest water consumers worldwide, and on the other hand make a significant contribution to the biogenic pollution of surface waters. Due to the stable biogenic saturation of reservoirs, there is a threat of a widespread increase in phytoplankton biomass, which significantly affects the quality of water resources. Despite the existing measures to combat this phenomenon, the issue of water bodies environmental monitoring is open in conditions of eutrophication. The article provides a brief description of the most unfavorable agricultural facilities in terms of biogenic load on reservoirs. The features of the biogenic saturation mechanism of the aquatic environment from agricultural territories are considered. The article highlights the main methods of environmental monitoring of the aquatic environment, provides a brief description of their effectiveness in conditions of eutrophication, and provides an overview of innovative methods and technical solutions in the field under consideration. The author focuses attention on the need to create integrated environmental monitoring systems for water bodies that combine the useful properties of its three main methods (physico-chemical,*

biological and remote), as well as taking into account the process of eutrophication, including from agricultural facilities. The development of such complexes will expand the functionality, improve the quality and efficiency of environmental monitoring of surface waters located near agricultural facilities.

**Keywords:** ecology, phytoplankton, water bodies, agro-industrial complex, pollution, biogenic substances

**Acknowledgments:** the work was done without financial support in the framework of the initiative topics.

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

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

**For citation:** Nevaev A. S. Effectiveness analysis of surface reservoirs environmental monitoring methods in conditions of their eutrophication by agricultural facilities. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):969–987. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.969-987>

Received: 14.06.2024

Accepted for publication: 19.11.2024

Published online: 25.12.2024

На протяжении XX–XXI вв. вплоть до 2021 г. отмечается существенный динамический рост водопотребления во всем мире [1]. При этом сельское хозяйство является одним из самых крупнейших мировых водопотребителей<sup>1</sup>. На сельское хозяйство, по данным 2021 г., приходится порядка 72 % общемирового объема забираемых поверхностных и подземных вод, которые преимущественно идут на орошение<sup>2</sup>.

В России, по данным Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, за 2022 г.<sup>3</sup> на долю использования свежей воды на нужды, связанные с сельским хозяйством, приходилось 13,4 %, на производственные – 53,2 %, а на долю питьевых и хозяйственно-бытовых нужд – 15,3 %. Однако сельское хозяйство входит в группу видов экономической деятельности, которая в 2022 г. стала второй по величине (17863,56 млн м<sup>3</sup>)

забора воды из природных источников в РФ, что составило 28,7 % от общего объема извлеченной воды из природных источников за этот период<sup>4</sup>.

Сельское хозяйство вносит и значительный вклад в загрязнение водных объектов. В частности, основной причиной загрязнения природных водоемов со стороны сельскохозяйственных объектов является сброс сточных вод. По оценкам ФАО, в окружающую среду ежегодно сбрасывается порядка 2520 км<sup>3</sup> сточных вод, из которых значительную часть составляют именно сельскохозяйственные (рис. 1)<sup>5</sup>. Для сравнения в Российской Федерации только за 2022 г.<sup>6</sup> группа видов экономической деятельности, куда входит сельское хозяйство, осуществила сброс сточных вод в поверхностные водные объекты объемом 4502,9 млн м<sup>3</sup>.

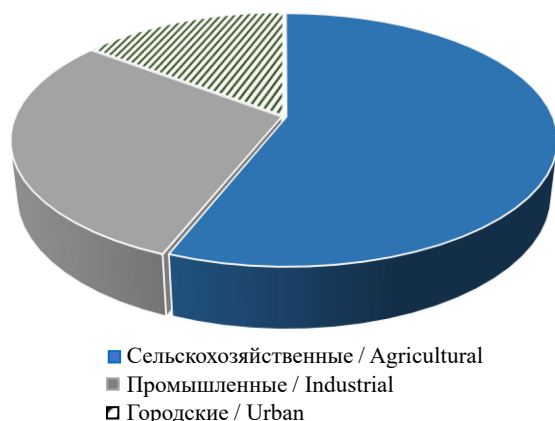


Рис. 1. Структура ежегодного объема сброса сточных вод по оценкам ФАО, км<sup>3</sup> /

Fig. 1. Structure of annual volume of wastewater discharge according to FAO estimates, km<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ФАО. Краткий обзор. Положение дел в области продовольствия и сельского хозяйства – 2020. Решение проблем с водой в сельском хозяйстве. Рим, 2020. 28 с. URL: <http://www.fao.org/3/cb1441ru/CB1441RU.pdf>

<sup>2</sup>ФАО. Состояние мировых земельных и водных ресурсов для производства продовольствия и ведения сельского хозяйства. Системы на пределе. Сводный доклад 2021. Рим, 2021. 99 с.

URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ee4e8f1c-6197-4ce2-a8e6-eb4af260212c/content>

<sup>3</sup>Государственный доклад о состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации, 2022.

[Электронный ресурс]. URL:

[https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_v\\_2022/?ysclid=lx0k8jvbch319644087](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2022/?ysclid=lx0k8jvbch319644087) (дата обращения: 04.06.2024).

<sup>4</sup>Там же.

<sup>5</sup>URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ee4e8f1c-6197-4ce2-a8e6-eb4af260212c/content>

<sup>6</sup>URL:

[https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye\\_doklady/gosudarstvennyy\\_doklad\\_o\\_sostoyanii\\_i\\_ob\\_okhrane\\_okruzhayushchey\\_sredy\\_rossiyskoy\\_federatsii\\_v\\_2022/?ysclid=lx0k8jvbch319644087](https://www.mnr.gov.ru/docs/gosudarstvennye_doklady/gosudarstvennyy_doklad_o_sostoyanii_i_ob_okhrane_okruzhayushchey_sredy_rossiyskoy_federatsii_v_2022/?ysclid=lx0k8jvbch319644087)

Необходимо отметить, что в настоящее время существенное антропогенное воздействие на почвы пахотных земель и пастбищ привело к их неспособности удерживать и разлагать переносимые с водой поллютанты, в результате чего в поверхностные водные объекты все чаще попадают значительные концентрации различных загрязнителей.

Так, в результате смыва почв, связанного с движением поверхностного стока (полив, осадки, таяние снега), происходит вымывание соединений фосфора, калия и азота из грунта, составляющих основу минеральных удобрений, которые затем попадают в природные водоемы и приводят к их эвтрофикации. В особенности это характерно для хозяйств, которые превышают нормы внесения минеральных удобрений и не соблюдают требуемых технологических параметров.

В свою очередь, объемы сельскохозяйственного использования искусственных удобрений, содержащих реактивные формы азота, растут с 2000 года. В 2017 г. было достигнуто рекордное значение по использованию азотсодержащих удобрений – 110 млн тонн. Кроме того, на долю промышленного производства удобрений и биологической фиксации азота в сельском хозяйстве приходится порядка 80 % антропогенной фиксации азота<sup>7</sup>.

Глобальные темпы роста использования фосфора в сельском хозяйстве сравнительно невелики. Своего максимального значения они достигли в 2016 г. и составили 45 млн тонн. Однако общий объем поступления фосфора в водные объекты в результате антропогенного использования составляет порядка 1,47 млн тонн в год. При этом 62 % приходится на точечные источники (бытовые и промышленные), а 38 % – на диффузные (сельское хозяйство)<sup>8</sup>.

Сельскохозяйственное использование калия достигло своего пикового значения в 2018 г., составив почти 39 млн тонн. И хотя его влияние на эвтрофикационный процесс поверхностных вод не настолько выражено по сравнению с фосфором и азотом, он также способствует повышению минерализации природных водных объектов<sup>9</sup>.

Важно подчеркнуть, что процесс эвтрофикации, помимо негативных экологических последствий для водоема, является неблагоприятным с точки зрения ведения сельского

хозяйства. Прежде всего, это касается существенного изменения органолептических характеристик и физико-химических параметров воды [2], приводя к невозможности ее использования для орошения. Кроме того, жизнедеятельность значительных скоплений фитопланктона (ФП) сопряжена с поступлением в водную среду ряда высокотоксичных соединений (альготоксинов) [2, 3].

Отрицательные последствия эвтрофирования водоемов безусловно затрагивают и рыбное хозяйство, где в условиях накопления в водной среде соединений аммонийного азота, аммиака и фосфора на фоне повышенных значений pH и сниженной жесткости воды широкое распространение получило заболевание – жаберный некроз [4].

Высокие значения уровня pH также являются благоприятными условиями для развития патогенной микрофлоры и возбудителей кишечных заболеваний, в том числе холерного вибриона [5].

Таким образом, профилактика и контроль «цветения» водорослей является предметом многих научных исследований последних лет. Перед научным сообществом достаточно остро стоит задача изучения антропогенного воздействия поверхностных стоков и поступления биогенных элементов в водную среду поверхностных водных объектов, используемых в оросительных целях, а также оценки экологического состояния данных водоемов для оросительных мелиораций [5].

Оказать помощь в данной ситуации способны системы экологического мониторинга, которые позволяют заблаговременно отследить патологическую изменчивость объектов наблюдения, не допустив при этом развития в них необратимых последствий.

Однако в настоящее время существует необходимость в их совершенствовании как с точки зрения эффективности, так и гармонизации основных применяемых на практике методов [6].

Более того, учитывая современный уровень технического прогресса, целесообразна разработка новейших систем экологического мониторинга поверхностных вод с привлечением современного оборудования и информационных технологий [7, 8, 9]. Принимая во внимание сложившуюся ситуацию с поступлением

<sup>7</sup>URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/ee4e8f1c-6197-4ce2-a8e6-cb4af260212c/content>

<sup>8</sup>Там же.

<sup>9</sup>Там же.



в водную среду значительного количества биогенов со стороны агропромышленного комплекса, важным условием для таких систем будет являться применимость для оценки антропогенного влияния сельского хозяйства на объекты наблюдения [10], а также учет фактора эвтрофикации и контроль за развитием фитопланктонных сообществ [11, 12].

**Цель обзора** – выявление специфики и анализ эффективности применяемых способов экологического мониторинга водной среды в условиях ее антропогенного эвтрофирования со стороны объектов сельского хозяйства, а также обзор инновационных решений в рассматриваемой области.

**Материал и методы.** В качестве материалов по данной теме служили статистические данные продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (FAO), Росводресурсов, Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации, научные труды отечественных и зарубежных ученых, российские и международные патенты на полезные модели и изобретения. Поиск научных работ проводили с привлечением ресурсов поисковой системы eLibrary и сети Интернет. Патентный поиск осуществляли с помощью информационно-поисковой системы ФИПС. Было изучено около 86 научных работ и патентов, из которых впоследствии для более детального изучения отобрали 52 наиболее значимых. Обзор включает самые актуальные технические решения за период 2020–2023 гг. В исследовании применяли методы системного комплексного изучения, сравнения, обобщения и анализа данных.

**Основная часть.** *Общая характеристика биогенного загрязнения поверхностных вод со стороны объектов сельского хозяйства.* К неконтролируемым точечным источникам загрязнения водоемов можно отнести различные сельскохозяйственные объекты с предусмотренными, на первый взгляд, техническими решениями по отводу и очистке сточных вод, но с отсутствующим должным уровнем контроля за их объемами и составом. Среди них можно выделить [13]:

- хозяйственно-бытовые воды небольших сельских поселений (менее 5 тыс. чел.) и фермерских хозяйств;
- малые животноводческие фермы (не более 3 тыс. голов) и птицеводческие фабрики (менее 50 кур-несушек и 300 цыплят-бройлеров);

- сельскохозяйственные предприятия с отсутствующими или неэффективными очистными сооружениями;

- малые тепличные комплексы (менее 1 га);
- дренажные и дренажно-сбросные воды с орошаемых и осушаемых сельскохозяйственных земель.

Диффузными источниками загрязнения чаще всего выступают сельскохозяйственные угодья, территории сельских поселений, животноводческих ферм, сельскохозяйственных производственных предприятий, земли фермерских и дачных кооперативов с непредусмотренными или не соответствующими установленным требованиям и нормам техническими решениями по управлению стоками.

Усилить неблагоприятное влияние на водные объекты способны факторы, провоцирующие неконтролируемые диффузные стоки. К ним относятся [13]:

- внесение удобрений на поля без запашки или/и в неподходящее время (период дождей), внесение избыточного количества удобрений и навоза;
- несоблюдение требований и правил по обращению, хранению и утилизации различных препаратов, включая минеральные удобрения;
- внесение доз химических мелиорантов, превышающих поглотительную способность почв;
- нарушения при хранении, транспортировке, складировании и утилизации отходов сельскохозяйственного производства (навоза, помета и др.);
- некорректная организация кормления животных и ошибки при выборе места их выгула, устройство водопоя непосредственно из водного объекта;
- игнорирование условий размещения и границ санитарно-защитных зон при устройстве сельскохозяйственных объектов (угодий, поселений, подсобных хозяйств и т.д.);
- недостаточность или полное отсутствие контроля за сбросом дренажно-коллекторных вод с мелиоративных систем.

Наиболее опасными для поверхностных вод являются стоки животноводческих и птицеводческих предприятий ввиду высокого содержания в них азота, фосфора, серы и тяжелых металлов, что неминуемо ведет к ускорению процесса их естественной эвтрофикации. К примеру, ежедневный объем жидких стоков для крупных животноводческих хозяйств составляет от 100 до 1500 м<sup>3</sup> [13]. Технологическое несовершенство организованных

сточных вод объектов животноводства приводит к недостаточной их очистке, нанося тем самым существенный экологический урон природным водам на прилегающих территориях. Более того, нередко территории ферм и птицефабрик выступают в качестве мест складирования навоза и помета, стоки которых свободно распространяются по местному рельефу, особенно в периоды снеготаяния.

Наиболее загрязненными принято считать стоки свиноводческих комплексов, так как сухой остаток в них превышает 6 г/л, содержание общего азота (N) – 1000 мг/л,  $P_2O_5$  – 190 мг/л [13]. Главной причиной загрязнения водоемов жидкими животноводческими стоками является недостаточное техническое оснащение и отсутствие адаптированных под гидросмыв очистных сооружений.

Так как большинство мелких ферм и хозяйств зачастую не оснащаются средствами утилизации жидких стоков, их допустимо отнести к неконтролируемым точечным и диффузионным источникам загрязнения, оказывающим негативное воздействие на малые реки и различные внутрибассейновые водоемы.

Отдельного внимания заслуживают сбросы тепличных комплексов, в стоках которых можно обнаружить достаточно широкий спектр загрязнителей, обусловленный наличием производственных и дренажных стоков. Последние являются источником физического, биологического и химического загрязнения ввиду высокого содержания в них механических и биологических загрязнителей, препаратов, а также растворенных минеральных и органических удобрений.

Необходимо отметить, что максимальное количество загрязнителей выносится в малые водные объекты, в случае присутствия распашанных пойм и использования интенсивных технологий в местном сельскохозяйственном производстве. Согласно расчетам для поймы реки Яхромы видно, что с оросительно-осушительных систем при модуле дренажного стока 0,05 л/с на га в среднем за один год выносится более 21 кг/га биогенных веществ [14, 15].

Одним из главных источников площадного загрязнения поверхностных водоемов выступают сельскохозяйственные угодья, располагающиеся на водосборах речных бассейнов, где на отдельных участках водосбора диффузный сток связан преимущественно

с процессами эрозии, выщелачивания и растворения. Причем в среднем с 1 га пашни ежегодно может выноситься до 80 кг нитратного азота, 3 кг фосфора и 60 кг калия в зависимости от типа почв, количества и характера осадков, вида растительности и дозы вносимых удобрений [15].

Исходя из многочисленности объектов агропромышленного комплекса (АПК), негативно влияющих на поверхностные водные объекты, специфики их функционирования и технического оснащения, а также сложности учета механизма поступления биогенных элементов в водоемы, целесообразной представляется оценка антропогенного влияния сельскохозяйственных объектов посредством регистрации соответствующих реакций водной среды и ее экосистем с помощью известных методов экологического мониторинга.

*Основные виды экологического мониторинга поверхностных водных объектов.* Осуществление экологического мониторинга требует учета немалого количества факторов и условий, связанных как с особенностями проведения мониторинговых процедур, так и свойствами среды, по отношению к которой они реализуются. В противном случае существует высокая вероятность достижения незначительного результата или вовсе полной несостоятельности запланированных мероприятий [16].

Экологический мониторинг является комплексным, многопрофильным процессом, что определяет широкий спектр методов и приемов, используемых при его осуществлении (рис. 2)<sup>10</sup>.

Остановимся на основных методах экологического мониторинга водной среды – физико-химическом, биологическом и дистанционном (физический и химический методы применяются довольно редко ввиду трудоемкости измерительного процесса и необходимости специфического оборудования, а также зачастую являются неотъемлемой частью физико-химического метода).

Наиболее распространенным и эффективным методом осуществления экологического мониторинга водных объектов является физико-химический метод с использованием широкого перечня оборудования, позволяющего обеспечить комплексную оценку состояния водной среды с высокой достоверностью<sup>11</sup>.

<sup>10</sup>Нечаева И. А. Физико-химические методы анализа объектов окружающей среды: конспект лекций. Кафедра «Химия». 2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://lektsia.com/18x58fe.html> (дата обращения 04.06.2024).

<sup>11</sup>Апкин Р. Н., Минакова Е. А. Экологический мониторинг. Казань: Казанский государственный энергетический университет, 2015. 127 с. URL: [https://lib.kgeu.ru/irbis64r\\_15/scan/12эл.pdf](https://lib.kgeu.ru/irbis64r_15/scan/12эл.pdf)

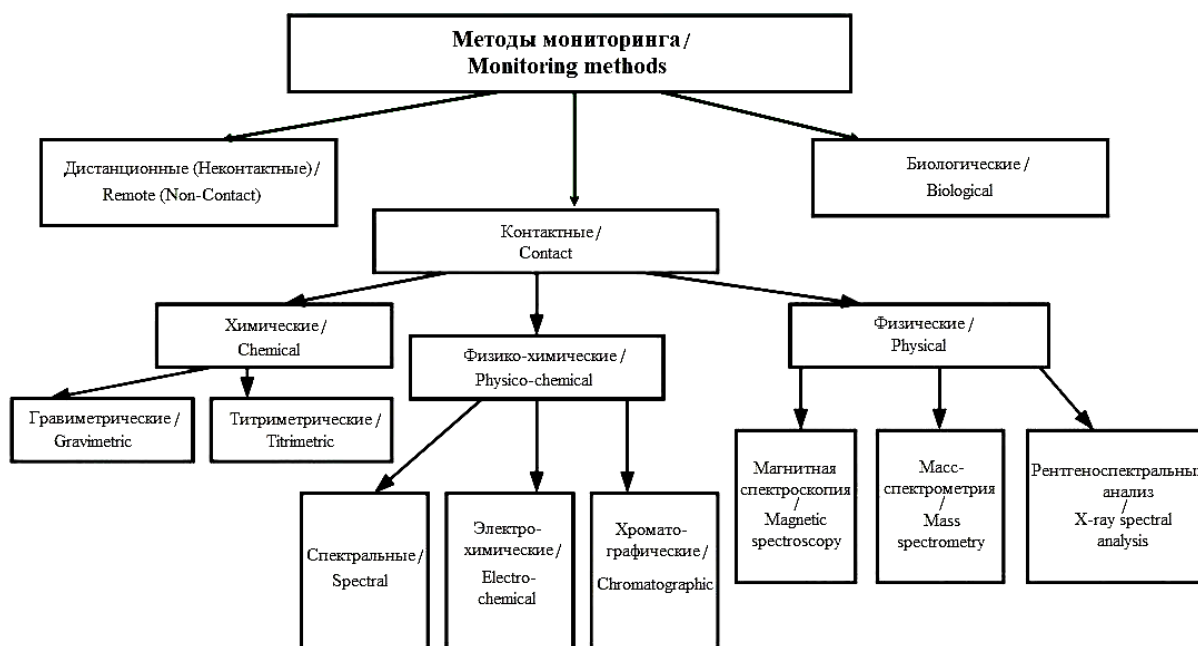


Рис. 2. Структура применяемых методов экологического мониторинга /  
Fig. 2. The structure of applied environmental monitoring methods

В то же время, несмотря на относительную доступность используемых приборов и его высокую популярность, данный метод является контактным, что выражается в локальности его применения<sup>12</sup>. Активно используется в ходе изучения водоемов, подверженных эвтрофированию.

Добиться большей масштабности мониторинговых мероприятий на водном объекте позволяют дистанционные (неконтактные) методы<sup>13</sup> (табл.). Они основаны на бесконтактном получении информации об объекте мониторинга с помощью удаленных приборов (датчиков), размещаемых преимущественно на беспилотных летательных или космических аппаратах.

Среди известных дистанционных (неконтактных) методов мониторинга эвтрофированных водных объектов особую известность за последнее время получили методы с применением геоинформационных систем (ГИС) и дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) [17].

В частности, ДЗЗ использовалось для изучения уровня эвтрофикации прибрежных вод Гданьского и Калининградского заливов Балтийского моря. Для данных акваторий была проведена общая оценка уровня эвтрофикации, согласно которой подтверждено существование проблемы эвтрофирования данных объектов,

а площадь с положительным вегетационным индексом (NDVI) составила около 30,6 тыс. м<sup>2</sup> [18].

Дистанционные технологии определения скоплений фитопланктонных сообществ применялись также и на внутренних пресноводных водоемах нашей страны. Так, например, известен случай успешного осуществления мониторинга развития сине-зеленых водорослей в Куйбышевском водохранилище с помощью трех наиболее информативных спектральных индексов (NDVI, NDWI, SIPI) [19].

Спутниковый мониторинг процессов эвтрофирования использовался на трансграничных участках р. Аргунь, итоговые результаты которого были получены с помощью консолидации спектрального индекса цветения поверхностных водорослей (SABI) и спектрального водного индекса MNDWI [20].

При мониторинге с помощью ДЗЗ поверхностных водных объектов, подвергшихся эвтрофированию, важнейшим показателем является концентрация фотосинтезирующего пигмента (ФП) – хлорофилла *a*. Пространственно-временная изменчивость данного показателя представляет собой основной индикатор в изучении как качества эвтрофированных вод, так и их биологической продуктивности посредством эмпирического соотношения концентрации хлорофилла *a* и спектральных характеристик водного объекта [21].

<sup>12</sup> Апкин Р. Н., Минакова Е. А. Указ. соч.

<sup>13</sup> Там же.



Таблица – Основные преимущества и недостатки различных методов экологического мониторинга водных объектов в условиях их ускоренного эвтрофирования /  
Table – The main advantages and disadvantages of various methods of environmental monitoring of water bodies in conditions of their accelerated eutrophication

Методы экологического мониторинга / Methods of environmental monitoring	Краткое описание метода / A brief description of the method	Преимущества / Advantages	Недостатки / Disadvantages
Физико-химический / Physico-chemical	Основан на проведении аналитических реакций, результаты которых определяются посредством специальных приборов / Based on conducting analytical reactions, the results of which are determined by means of special devices.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Относительная доступность приборов на рынке / Relative availability of devices on the market.</li> <li>- Высокий предел обнаружения / High detection limit.</li> <li>- Быстро и автоматизация процесса анализа / Speed and automation of the analysis process.</li> <li>- Возможность определения параметров водной среды, используемых при оценке уровня эвтрофикации / The ability to determine the parameters of the aquatic environment used in assessing the level of eutrophication.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Необходимость отбора проб / It is necessary to take samples.</li> <li>- Ограниченность зоны мониторинга / Limited monitoring area.</li> <li>- Отсутствие учета искажения ФП считываемых водных параметров, в рамках мониторинговых задач, отличных от эвтрофикационной оценки / Lack of consideration of phytoplankton distortion of the water parameters, within the framework of monitoring tasks other than eutrophication assessment.</li> </ul>
Дистанционный (неконтактный) / Remote (non-contact)	Основан на использовании зондирующих полей и съемочного оборудования без непосредственного контакта с объектом мониторинга / Based on the use of probing fields and filming equipment without direct contact with the monitoring object.	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Масштабная зона мониторинга / Large-scale monitoring area.</li> <li>- Осуществление удаленного и непрерывного наблюдения / Implementation of remote and continuous monitoring.</li> <li>- Оперативная передача данных / Operational data transfer.</li> <li>- Возможность обнаружения высокопродуктивных зон водного объекта / The ability to detect highly productive areas of a water body.</li> <li>- Наблюдение за движением скоплений ФП / Monitoring the movement of phytoplankton clusters.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Необходимость дорогостоящего оборудования / It is necessary to use expensive equipment.</li> <li>- Искажение результатов мониторинга вследствие многофакторности оптических свойств некоторых акваторий / Distortion of monitoring results due to the multifactorial optical properties of some water areas.</li> <li>- Учет изменчивости ограниченного спектра параметров водной среды / Taking into account the variability of a limited range of parameters of the aquatic environment.</li> </ul>
Биологический / Biological	Основан на наблюдении за составом и численностью видов-индикаторов (биоиндикаторов) / Based on the observation of the composition and abundance of indicator species (bioindicators).	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Низкая стоимость исследований / Low cost of research.</li> <li>- Учет состояния и изменчивости биотеноса водных объектов / Accounting for the state and variability of the biocenosis of water bodies.</li> <li>- Возможность проведения оценки тенденций изменений экологических систем за длительный промежуток времени / The ability to assess trends in the variability of ecological systems over a long period of time.</li> <li>- В качестве индикатора может выступать сам ФП, а также гидробионты, питающиеся им и накапливающие в своих тканях аллотоксины / Phytoplankton itself can act as an indicator, as well as hydrobionts that feed on it and accumulate algotoxins in their tissues.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Высокая трудоемкость исследований / High labor intensity of research.</li> <li>- Сложность обращения с «живыми индикаторами» / The difficulty of handling live indicators.</li> <li>- Сложность обработки полученных результатов по причине необходимости учета большого числа факторов, влияющих на биотенос / The complexity of processing the results obtained due to the need to take into account a large number of factors affecting the biocenosis.</li> <li>- Ограниченность зоны мониторинга / Limited monitoring area.</li> <li>- Невозможность универсального применения ввиду отличия видовых структур биотеноса у разных типов водных объектов / The impossibility of universal application due to differences in the species structures of biocenosis in different types of water bodies.</li> </ul>

Однако применяемые на практике алгоритмы оценки концентрации хлорофилла *a*, по данным спутниковых цветковых сканеров, иногда могут приводить к ошибочным результатам. С целью получения более достоверных данных необходима отдельная корректировка используемых алгоритмов для акваторий, оптические свойства которых определяются не только ФП<sup>14</sup>.

На сегодняшний день также известно о некоторых попытках повысить эффективность методов экологического мониторинга поверхностных водных объектов на основе ДЗЗ. В ходе изучения программного инструментария для повышения качества данных спутникового зондирования земли при мониторинге гидробиологических процессов мелководного водоема, на примере снимков акватории Азовского моря была продемонстрирована высокая эффективность алгоритма обработки, основанного на методе локальных бинарных шаблонов (Local Binary Patterns (LBP)) [22].

Перспективным направлением развития мониторинговых методов ДЗЗ также является повышение разрешения спектрально-аналитических снимков методом слияния, который заключается в совмещении панхроматического изображения высокого разрешения с мультиспектральным низкого разрешения, позволяющего выдать более качественную информацию об объектах на спутниковом снимке [23].

Однако следует заметить, что повышение детализации спутникового изображения не способно в полной мере отразить полноту гидробиологических процессов водоема и всесторонне оценить степень влияния на него эвтрофикационного процесса.

Отдельного внимания заслуживают биологические методы мониторинга поверхностных вод, которые активно развиваются в настоящее время. Их главным преимуществом является получение объективной картины о происходящих изменениях в экосистеме водного объекта, подвергнувшегося антропогенному воздействию.

Нередко они дополняют физико-химические методы в рамках комплексного исследования водной среды [24, 25, 26].

Биологический подход также имеет место и при изучении эвтрофированных водоемов. Одним из основных направлений в данном случае является контроль и оценка влияния

токсинов и экзометаболитов, продуцируемых крупными колониями ФП, на биологические ресурсы природных вод, зачастую извлекаемых человеком для употребления в пищу [27, 28].

Оценить качество водной среды возможно и по наличию специфических представителей фитопланктонных сообществ в водоеме. Так, Е. С. Слайковская и Н. В. Герман [29] провели успешную оценку экологического состояния пруда в одном из микрорайонов г. Волгограда. Согласно проведенным биологическим исследованиям, были выявлены доминирующие виды ФП, свидетельствующие о сильном органическом загрязнении изучаемого водного объекта.

Несмотря на очевидные преимущества биологического подхода к осуществлению экологического мониторинга поверхностных вод, данные методы хорошо себя зарекомендовали лишь в качестве единичных мониторинговых операций, сопряженных с отбором проб и проведением лабораторных изысканий. Выбор биологических методов, при необходимости проведения длительных или непрерывных мониторинговых мероприятий, на практике осуществляется крайне редко. Это обусловлено как сложностью организации подобных мониторинговых процессов, так и трудоемкостью работ с биологическими объектами.

Таким образом, учитывая преимущества и недостатки вышеназванных подходов к осуществлению экологического мониторинга, а также особенности их применения в условиях эвтрофированных вод, перспективным направлением его развития стоит считать консолидацию известных методов в единый мониторинговый комплекс с привлечением инновационных решений и технологий в данной области. Такая комплексная система позволит достичь сочетания лучших свойств известных мониторинговых методик, повысить качество мониторинговых операций и их результатов, а также обеспечить объективную оценку влияния на водную среду эвтрофикационного процесса, значительный вклад в ускорение которого вносит сельское хозяйство.

*Инновационные способы осуществления экологического мониторинга поверхностных вод.* Принимая во внимание широкое географическое распространение объектов сельского хозяйства, а также их нередкое размещение в непосредственной близости от различных водных

<sup>14</sup>Кутявина Т. И. Изучение процессов эвтрофикации водных объектов Кировской области: автореф. дис.... канд. биол. наук. Киров, 2017. 139 с. URL: [https://diss.vlsu.ru/uploads/media/Avtoreferat\\_Kutjavina\\_TI\\_itog.pdf](https://diss.vlsu.ru/uploads/media/Avtoreferat_Kutjavina_TI_itog.pdf)

объектов, следует рассматривать инновационные решения в области экологического мониторинга не только с точки зрения применяемых методов, но также и учитывая всевозможное многообразие водоемов, на которых они реализуются.

В настоящее время среди современной научной литературы и объектов интеллектуальной собственности встречается множество перспективных подходов по осуществлению мониторинговых мероприятий на водных объектах.

За последние годы (2020–2023) особую популярность приобрели биологические методы. Например, А. В. Николаева и др. [30] представили способ проведения экологического мониторинга акватории пролива Бьеркезунд Финского залива с помощью аквакультуры, позволяющего делать вывод об экологическом состоянии морской экосистемы по результатам исследования гидробионтов, морской воды, донных отложений, фито- и зоопланктона. Суть способа заключается в осуществлении отбора проб морской воды, донных отложений, фито- и зоопланктона из различных точек исследуемой акватории с последующим выявлением отклонений полученных результатов от нормативных показателей и известных многолетних данных. Способ также предполагает исследование мышечной ткани гидробионтов, в качестве которых выступают речная дрейссена *Dreissena polymorpha*, радужная форель *Parasalmo mykiss* и балтийский сиг *Coregonus lavaretus*, на содержание в ней нефтепродуктов.

В 2022 г. М. Т. Гайсин и М. М. Родькин [31] разработали способ проведения экологического мониторинга за состоянием участка морской акватории Цемесской бухты Черного моря с применением биологических тест-объектов. Этот способ во многом схож с вышеописанным, однако в качестве анализируемых гидробионтов рассматриваются черноморская мидия *Mytilus galloprovincialis* и устрица черноморская *Ostrea edulis*, размещаемые в специальных пластиковых садках поблизости от промышленных объектов, способных оказывать негативное влияние на исследуемый участок акватории.

Стоит отметить, что оба вышеперечисленных способа относятся прежде всего к мониторингу углеводородного загрязнения морских экосистем, располагающихся вблизи объектов нефтяной промышленности. В рамках их осуществления предполагается проведение анализа показателей водной среды, отбор проб

ФП и размещение в специальных емкостях, чувствительных к загрязнению тест-объектов. Это может стать полезной основой для разработки мониторинговых методов биологической направленности, входящих в состав комплексной системы мониторинга поверхностных вод, учитывающей антропогенную нагрузку со стороны АПК.

Проводя патентный поиск по тематике экологического мониторинга водных объектов, среди новейших изобретений можно также обнаружить попытки объединения его основных методов.

Так, в 2021 г. А. В. Шатохин и др. [32] запатентовали автоматизированный биосенсорный комплекс раннего оповещения для экологического мониторинга водной среды, который представляет собой результат объединения биологического и дистанционного методов мониторинга. Суть изобретения заключается в осуществлении непрерывной биологической оценки качества вод посредством фиксации величины раскрытия створок мидий и передачи соответствующей информации на удаленный аппаратно-программный блок фиксации с помощью сети GSM.

Позже похожая система В. В. Трусевича и В. Ю. Журавского [33] также позволила получить положительные результаты автоматизированного биосенсорного контроля нефтяного загрязнения вод Севастопольского водоканала за несколько лет с привлечением в качестве тест-объектов пресноводных двусторчатых моллюсков-перловиц (*Unio pictorum*).

Как известно, отдельные виды гидробионтов, в частности моллюски, способны накапливать в тканях своего организма некоторые виды альготоксинов, продуцируемых ФП [34, 35].

В связи с этим исследование поведенческих и физиологических реакций данного вида гидробионтов в условиях повышенных концентраций альготоксинов, в том числе с применением средств автоматизации, имеет научный и практический интерес в области экологического мониторинга эвтрофированных водоемов. Однако необходимо провести больше исследований по расширению и выявлению наиболее оптимального видового состава тест-объектов, способных чутко реагировать на соответствующие изменения водной среды различных типов поверхностных вод.

Попытки объединения с дистанционными мониторинговыми методами были замечены и в отношении физико-химических методов.



В первую очередь, особое внимание заслуживают способы с использованием беспилотных аппаратов, которые за последнее время приобрели некоторую популярность.

В 2020 г. Чан-Цзин Ву (Shang-Jung Wu) [36] изобрел многопозиционную систему мониторинга качества воды с временным разделением, состоящую из станции управления и беспилотного летательного аппарата (БПЛА), снабженного устройством измерения качества воды. Получая команду от станции управления посредством беспроводной передачи, БПЛА вылетает к месту определения параметров воды по заданной траектории. Далее, с помощью измерительного устройства выполняется процедура сбора данных и последующая их дистанционная передача на станцию управления или отдельный сервер.

Разработка новейших способов осуществления экологического мониторинга поверхностных вод не ограничивается только летательными моделями.

Так, А. М. Бражникова и А. М. Бражников [37] презентовали автономный подводный аппарат класса «микро» для мониторинга экологического состояния малых водоемов. Конструкция аппарата позволяет осуществлять надводный автоматический и полуавтоматический мониторинг параметров воды в нужных координатах с помощью системы GPS, а также погружение на заданную глубину и отбор проб объемом 300 мл.

В 2022 г. А. Е. Новиков и др. [38] получили патент на плавсредство для мониторинга природных и искусственных водоемов, обеспечивающее дистанционный мониторинг показателей состава и качества воды с помощью блока измерительных зондов. Перемещение данного устройства осуществляется оператором удаленно, а передача получаемых в ходе мониторинга данных передается по сети Wi-Fi или технологии LoRaWan на мобильный персональный компьютер.

Стоит отметить, что использование беспилотных аппаратов позволяет автоматизировать и обеспечить непрерывность процесса наблюдения, что является весьма важным условием осуществления экологического мониторинга водоемов, подверженных диффузному биогенному загрязнению со стороны объектов сельского хозяйства. Дополнительное оснащение подобных аппаратов измерительными устройствами, прямо или косвенно регистрирующими ФП, позволит им найти свое широкое

применение в сегменте физико-химической направленности новейших мониторинговых комплексов водной среды.

Не стоит на месте и разработка мониторинговых решений ограниченной мобильности.

В 2021 г. С. Н. Воробьев и др. [39] разработали устройство определения гидро-химико-физических параметров водной среды. Оно предназначено для определения физико-химического состояния водной среды поверхностных вод, а также отбора проб для последующего анализа. Представляет собой единую герметичную емкость с датчиками измерения физико-химических параметров, выполненную с возможностью автоматической подачи в нее заборной воды. Само техническое устройство устанавливается на судно, а запись получаемых с помощью датчиков данных через установленные промежутки времени происходит на специальное регистрирующее устройство. Измерение параметров водной среды может осуществляться как во время стоянки, так и по ходу движения судна.

К недостаткам данного технического решения относятся низкая автономность и ограниченная мобильность, обусловленные строгой зависимостью от траектории движения судна, управляемого человеком. При этом если допустить, что реализация данного устройства будет носить обязательный характер для каждого судовладельца, а результаты измерения передаваться на удаленное устройство, появляется возможность построения комплексной сети физико-химического мониторинга водной среды, обеспечиваемой совокупным движением судов на водном объекте или его акватории. Расширение мониторингового функционала за счет снабжения данного устройства измерительной аппаратурой, позволяющей регистрировать биомассу ФП, станет хорошим подспорьем при мониторинге значительных по площади эвтрофированных водоемов.

В 2022 г. С. Н. Охрименко и др. [40] получили патент на универсальный буй для экологического мониторинга водоемов. Изобретение представляет собой герметичный корпус с системой всплытия-погружения, снабженный блоком электронных модулей измерительной и регистрирующей аппаратуры. Постановка в зоне мониторинга осуществляется с помощью объекта-носителя посредством опускания конструкции устройства на дно водоема. После чего происходит подвсплытие (установка) корпуса на необходимое для проведения измерений

водной среды заглубление. Универсальный буй также имеет возможность измерения параметров воздушной среды и снабжен антеннами радио- и акустической связи.

Следует отметить, что в описании к данному изобретению отсутствует упоминание о конкретных параметрах воды, измеряемых в ходе мониторинга. Если предположить, что среди них также имеют место показатели, качественно и количественно отражающие присутствие в водной среде ФП, то данное техническое решение, при условии массового рассредоточения устройств на водном объекте, также сможет стать частью комплекса экологического мониторинга поверхностных водоемов, подверженных эвтрофированию.

Схожая система наблюдения за качеством природных вод, включающая, помимо стационарных автоматических станций контроля загрязнения воды, малогабаритные (переносные) станции, которые размещаются в местах сброса сточных вод, была предложена С. С. Вороничем и др. [41]. Предполагается, что данная система позволит определять до 22 физико-химических показателей, однако на сегодняшний день авторы сообщают об успешных испытаниях лишь 5 из них: водородный показатель (рН); температура воды; растворенный кислород; азот нитратный; химическое потребление кислорода (ХПК). Тем не менее, даже текущего количества параметров может быть достаточно, чтобы судить о присутствии фактора эвтрофикации.

Стоит упомянуть и о научной публикации М. М. Трофимчука [42], где была рассмотрена возможность интегральной оценки экологического состояния водных объектов с помощью определения энтропийного индекса. Данный индекс позволяет, используя традиционные гидрохимические показатели – данные о концентрации растворенного кислорода и температуре воды, судить о состоянии экосистемы наблюдаемого водоема. Более того, автором был получен патент на изобретение способа оценки экологического состояния водных объектов [43], согласно материалам которого получение необходимых для расчёта данных происходит за счет установки на водном объекте датчиков температуры и кислорода. При этом также отмечается возможность определения данных в автоматическом режиме с последующей их передачей по телекоммуникационным каналам связи. Позже автором были опубликованы результаты практического

использования данного индекса для оценки экологического состояния широкого спектра водных объектов, где была подчеркнута целесообразность его применения, а также обсуждены преимущества и перспективы предложенного подхода в области мониторинга поверхностных вод [44].

Отличительной особенностью рассмотренного выше способа является возможность отражать полную совокупность и взаимодействие естественных биологических и биохимических процессов водного объекта, обеспечивая тем самым объективную и достоверную оценку его экологического состояния. Его реализация возможна как в полевых, так и лабораторных условиях, не требуя при этом значительного количества времени и специальной профессиональной подготовки. К тому же способ на основе энтропийного индекса потенциально имеет высокий шанс занять свое место в составе инновационных комплексных систем экологического мониторинга.

Следует подчеркнуть, что развитие технических решений и инновационных подходов ограниченной мобильности в области экологического мониторинга поверхностных вод, безусловно, является перспективным направлением в совершенствовании существующих мониторинговых систем. Однако их реализация на крупных водоемах, зачастую имеющих более высокий уровень концентрации сельскохозяйственных объектов вдоль своих берегов, требует привлечения гораздо более внушительных средств по сравнению с системами на основе беспилотных аппаратов. Несмотря на широкие функциональные возможности, необходимый учет ряда организационных, технических, правовых и экономических аспектов существенно ограничивает их выбор на фоне развития автоматизированных систем.

Среди современной научной литературы в области экологического мониторинга можно также найти работы, посвященные тематике измерения флуоресцентных характеристик водной среды. В 2022 г. Л. П. Некрасова [45] опубликовала результаты исследования загрязненности Москвы-реки и ее притоков (Пахры, Котловки, Сетуни) с помощью метода флуоресцентной спектроскопии. В ходе исследования была выявлена положительная корреляция между оптической плотностью (0,66), а также интенсивностью флуоресценции (0,74) с содержанием растворённого органического углерода (РОУ). Однако автором подчерки-

вается, что рассматриваемый в статье метод позволяет получить только полуколичественную оценку загрязнённости воды и не может быть использован для количественного определения индивидуальных веществ.

В том же году О. А. Плотниковой и др. [46] был проведен сравнительный анализ избирательности классического и синхронного флуоресцентных методов определения экотоксикантов полициклических ароматических углеводородов (ПАУ). Было установлено, что использование синхронных спектров позволяет не только улучшить избирательность флуоресцентного анализа ПАУ, но также и найти успешное применение для идентификации отдельных ПАУ при экологическом мониторинге экотоксикантов в водных объектах окружающей среды.

Немногом ранее З. А. Темердашев и др. [47] провели сравнительную характеристику спектрометрических методов определения хлорофилла *a* в природных водах, где была показана предпочтительность определения хлорофилла с помощью его флуоресценции, а также продемонстрированы результаты реализации разработанной методики экстракционно-флуоресцентного определения хлорофилла *a*. По заявлениям авторов, представленная в работе методика прошла метрологическую аттестацию и была внесена в реестр Федерального информационного фонда по обеспечению единства измерений.

Не стала исключением и разработка технических устройств, определяющих флуоресценцию хлорофилла *a* в водной среде. К примеру, в 2020 г. У. С. Янг и др. (W. S. Yang et al.) [48] запатентовали флуоресцентный датчик для измерения количества микроводорослей и способ его эксплуатации. Известно, что явление флуоресценции возникает из-за поглощения хлорофиллом света, при возвращении его молекулы из возбуждённого состояния в основное [49]. Учитывая данную особенность, вышеупомянутый датчик позволяет определить плотность микроводорослей в водной среде путем формирования возбуждающей свет ультразвуковой волны в области измерения. Плотность водорослей в данном случае определяется по интенсивности обратного флуоресцентного сигнала.

В 2021 г. В. А. Крикун и П. А. Салюк [50] изобрели автономный подводный зонд-флуориметр, который наряду с регистрацией излучения флуоресценции хлорофилла *a*

позволяет определять флуоресценцию растворенных органических веществ, комбинационное рассеяние воды и интенсивность лазерного излучения. Зонд также снабжен датчиками температуры и давления забортной воды, а в качестве источника возбуждения флуоресценции выступает полупроводниковый лазер.

Принимая в расчет возможность определения флуоресцентными методами различных видов загрязнений водной среды, а также наличия в ней ФП, данный подход определенно станет неотъемлемой частью инновационных мониторинговых комплексов, способных учитывать весь спектр негативного антропогенного влияния на поверхностные водоемы. Кроме того, разработка технических решений, позволяющих определять хлорофилл *a* и плотность ФП, станет полезным дополнением к автоматизированным беспилотным или стационарным сегментам физико-химического мониторинга подверженных эвтрофированию поверхностных вод, в том числе со стороны объектов сельского хозяйства.

Особое место в области экологического мониторинга водных объектов занимают комплексные мониторинговые системы, специализирующиеся на учете фактора «цветения» и контроле численности местного ФП сообщества.

В 2022 г. были опубликованы материалы патента на изобретение системы и способа стереоскопического мониторинга с интеллектуальным анализом данных о вредном цветении озерных цианобактерий за авторством Б. Цинь и др. (B. Qin et al.) [51].

Данный комплекс предполагает получение информации, связанной с «цветением» водорослей в озере, тремя разными способами: с помощью дистанционного зондирования, автоматического мониторинга параметров водной среды, а также контактно с последующей передачей полученных данных по сети Интернет в центр информационной обработки.

Необходимо подчеркнуть, что под дистанционным зондированием в данном случае понимается спутниковая съемка. Автоматический мониторинг представлен мониторинговой сетью, образованной множеством автоматических станций, соединенных с помощью беспроводной сети. А контактный метод осуществляется посредством отбора проб вручную с последующим анализом концентрации биогенных элементов, преимущественно соединений фосфора и азота, а также иных веществ, продуцируемых цианобактериями в ходе своей жизнедеятельности.

По полученным данным происходит вычисление трехмерной численной модели озера, оценка риска и прогноз «цветения» водорослей с отображением данной информации на общедоступной платформе.

В нашей стране также ведутся разработки комплексных систем мониторинга поверхностных вод, подверженных эвтрофированию.

К примеру, Н. А. Голушков и А. Г. Кокуев [52] в 2023 г. предложили собственную интегрированную платформу мониторинга водной среды прудового хозяйства, которая состоит из 6 основных модулей. Особого внимания заслуживает модуль анализа и оценки состояния водной среды, с помощью которого определяется как общее качество воды, так и оценка уровня эвтрофикации водоема. Благодаря модулю комплексного мониторинга на ежедневной основе осуществляется автоматическое определение значений химического потребления кислорода (ХПК), биохимической потребности в кислороде (BOD), концентраций аммиачного азота и общего фосфора. Отмечается, что пространственные и атрибутивные данные наблюдаемого водного объекта в режиме реального времени поступают со спутника дистанционного зондирования и мониторингового оборудования.

К сожалению, в статье не упоминается об учете в ходе мониторингового процесса спектральных вегетационных индексов, которые успешно зарекомендовали себя при дистанционном мониторинге эвтрофированных водоемов. Однако вовлечение в рабочий процесс спутникового зондирования обуславливает их применение в будущем в рамках модернизации данной мониторинговой системы.

Следует отметить, что само по себе наличие разработок в области комплексного мониторинга эвтрофированных водных объектов создает предпосылки к формированию отдельного эвтрофикационного сегмента, входящего в состав инновационных мониторинговых комплексов. Учитывая колоссальную биогенную нагрузку, оказываемую объектами сельского хозяйства на прилегающие водоемы, подобный мониторинговый сегмент станет незаменимым помощником при осуществлении их полноценного экологического мониторинга.

**Заключение.** В рассматриваемый период (2020–2023 гг.) сельское хозяйство не только занимает ведущее положение по показателям водопотребления, но и играет ключевую роль в ускорении эвтрофикационного процесса водной

среды. Антропогенное эвтрофирование способствует дестабилизации водных экосистем, снижению их биологического разнообразия, ограничению доступа к биологическим и рекреационным ресурсам. Принимая во внимание многочисленность объектов АПК, различия в их специфике и техническом оснащении, а также сложность учета механизма поступления биогенных элементов в водоемы, эффективно оценить антропогенное влияние сельскохозяйственных объектов на поверхностные воды представляется возможным только с помощью регистрации соответствующих реакций водной среды и ее обитателей.

Наиболее подходящим для этих целей мероприятием выступает экологический мониторинг, являющийся важной составляющей любой программы по защите и сохранению водных ресурсов. При этом проведение мониторинга с использованием базовых подходов может оказаться далеко не всегда эффективным в силу наличия ряда существенных недостатков и необходимости их совершенствования, особенно в условиях высокой биогенной нагрузки со стороны АПК.

В связи с этим перспективой повышения эффективности экологического мониторинга водных объектов является консолидация известных методов в единый мониторинговый комплекс с привлечением инновационных решений и технологий в данной области. Это позволит достичь сочетания лучших свойств известных мониторинговых подходов, повысить качество и эффективность мониторинговых операций, а также максимально автоматизировать процесс проведения. При этом важным условием для таких комплексных систем будет являться возможность их применения на различных типах водных систем, что обусловлено широким географическим распространением объектов АПК, а также учет влияния на водную среду эвтрофикационного процесса, значительный вклад в ускорение которого вносит сельское хозяйство.

Анализ новейших изобретений в области экологического мониторинга поверхностных вод показал, что на сегодняшний день еще не удалось окончательно консолидировать все базовые подходы в едином техническом исполнении. Однако уже сейчас существуют некоторые перспективные методики и технические решения, которые, безусловно, должны войти в состав инновационных мониторинговых комплексов.



## Список литературы

1. Коронкевич Н. И., Барабанова Е. А., Зайцева И. С. Оценка современного водопотребления в мире и на континентах, его влияние на годовой речной сток. Вестник Российской академии наук. 2022;92(3):256–264. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587322030057> EDN: KYKQEN
2. Горская О. И. Совершенствование методов альголизации и биомелиорации водоема-охладителя Ростовской АЭС и приплотинной части Цимлянского водохранилища. Глобальная ядерная безопасность. 2023;(2):14–23. DOI: <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-02> EDN: MHRNWW
3. Смирнова В. С., Теканова Е. В., Калинин Н. М., Чернова Е. Н. Состояние фитопланктона и цианотоксины в пятне «цветения» в озере Святозеро (бассейн Онежского озера, Россия). Вода и экология: проблемы и решения. 2021;(1(85)):50–60. DOI: <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.1.50-60> EDN: FFYZXV
4. Кумыков М. З. Эвтрофирование рыбохозяйственных водоемов и пути его профилактики. Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2008;3(19-1):216–217. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14627281> EDN: MICHXH
5. Мелихов В. В., Фролова М. В., Зибаров А. А., Московец М. В. Экологическая оценка современной биотехнологии улучшения качества поливной воды для агроландшафтов Волго-Донского междуречья. Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2019;(3):94–101. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41321235> EDN: AZECKT
6. Мамась Н. Н., Горбенко А. Ю., Куденко Д. В. Актуальные подходы к эколого-гидрогеологическому мониторингу водных объектов. Пути повышения эффективности орошаемого земледелия. 2023;(3):151–160. Режим доступа: <https://www.rosniipm-sm1.ru/article?n=244> EDN: SNYIVQ
7. Кутявина Т. И., Ашихмина Т. Я. Современное состояние и проблемы мониторинга поверхностных водных объектов России (обзор). Теоретическая и прикладная экология. 2021;(2):13–21. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-013-021> EDN: QOYTRX
8. Потапов В. П., Кузьмин Д. Г., Сероус Т. О. Научно-практические основы проекта «цифровой Ускат» и особенности его реализации. Уголь. 2022;(11):40–47. DOI: <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-40-47> EDN: IXWAWA
9. Амашукели С. А. Развитие цифровизации в сфере использования и охраны водных объектов. Актуальные проблемы российского права. 2022;17(3):177–187. DOI: <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.136.3.177-187> EDN: RFLRQW
10. Второй В. Ф., Второй С. В. Перспективы экологического мониторинга сельскохозяйственных объектов с использованием беспилотных летательных аппаратов. АгроЭкоИнженерия. 2017;(92):158–166. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30258921> EDN: ZMEBEN
11. Шевырногов А. П., Высоцкая Г. С., Письман Т. И., Кононова Н. А., Ботвич И. Ю. Перспективы глобального и регионального мониторинга динамики фитопигментов в океане и на суше на основе дистанционного зондирования земли. Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. 2023;16(1):104–114. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50245730> EDN: ZCJMUS
12. Кутявина Т. И., Рутман В. В., Ашихмина Т. Я., Савиных В. П. Использование космических снимков для определения границ водоёмов и изучения процессов эвтрофикации. Теоретическая и прикладная экология. 2019;(3):28–33. DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-028-033> EDN: DEDFQO
13. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А. Влияние сельскохозяйственного производства на загрязнение водных объектов. Природообустройство. 2020;(5):18–26. DOI: <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-5-18-27> EDN: OMUCXC
14. Кирейчева Л. В., Лентяева Е. А. Оценка количества и качества дренажных и поверхностных вод, поступающих в речную сеть бассейна реки Волги с осушительных систем нечерноземной зоны РФ. Мелиорация земель – неотъемлемая часть восстановления и развития АПК Нечерноземной зоны Российской Федерации: мат-лы междунаро. научн.-практ. конф. М.: ВНИИ гидротехники и мелиорации имени А. Н. Костякова, 2019. С. 215–221.
15. Кирейчева Л. В., Яшин В. М., Лентяева Е. А., Тимошкин А. Д. Оценка диффузного загрязнения биогенными веществами с сельскохозяйственных угодий в бассейне реки Яхромы (Московская область). Научные проблемы оздоровления российских рек и пути их решения: сб. научн. тр. М.: Студия Ф1, 2019. С. 379–384. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/frxpcc> EDN: FRXPCC
16. Джумабаев М. С. Экологический мониторинг объектов окружающей среды: сущность понятия. АгроЭкоИнфо. 2023;(3):7. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54181337> EDN: UYDIYV
17. Болданова Е. В. Оценка трофности озера Байкал с использованием дистанционного зондирования. Географический вестник. 2022;(2(61)):73–89. DOI: <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-2-73-89> EDN: VKCWWC
18. Бабич О. О., Рада А. О., Куликова Ю. В., Сухих С. А. Изучение уровня эвтрофикации прибрежных вод Гданьского залива Балтийского моря с использованием данных дистанционного зондирования земли. Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Серия: Естественные науки. 2023;(1(217)):35–42. DOI: <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-1-35-42> EDN: PJBUXF

19. Шерстобитов Д. Н., Ермаков В. В., Пыстин В. Н., Тупицына О. В. Мониторинг развития сине-зеленых водорослей в Куйбышевском водохранилище при помощи индексов дистанционного зондирования Земли. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2023;31(2):232–240. DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-232-240> EDN: HCCIZZ
20. Курганович К. А. Спутниковый мониторинг процессов эвтрофирования участка трансграничной р. Аргунь (Хайлар) с использованием спектрального индекса цветения поверхностных водорослей (SABI), по данным дистанционного зондирования LANDSAT. Вестник Забайкальского государственного университета. 2022;28(7):26–33. DOI: <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2022-28-7-26-33> EDN: KCHXIF
21. Гоголев Д. Г., Буканова Т. В., Кудрявцева Е. А. Концентрация хлорофилла «а» в юго-восточной части Балтийского моря летом 2018 года по спутниковым данным. Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Серия: Естественные и медицинские науки. 2020;(4):83–91. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44392366> EDN: RUSNPF
22. Панасенко Н. Д., Ганжур М. А., Ганжур А. П. Исследование применения космических снимков для определения объектов на поверхности водоемов. Инженерный вестник Дона. 2020;(12(72)):376–387. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44760082> EDN: UOYQOS
23. Калитов М. А. О применении спектрально-аналитической визуализации в дистанционном зондировании земли. Вестник Новгородского государственного университета. 2024;(1(135)):95–107. DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2024.1\(135\).95-107](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2024.1(135).95-107) EDN: QAORRJ
24. Арсланова М. М., Шорникова Е. А., Музиева М. И. Анализ особенностей распределения гидрохимических и микробиологических показателей водотоков Сургутского и Октябрьского районов Ханты-Мансийского автономного округа – Югры. Самарский научный вестник. 2020;9(2):15–19. DOI: <https://doi.org/10.17816/snv202102> EDN: MQPSAE
25. Гудкова Н. К., Горбунова Т. Л., Матова Н. И. Влияние полигонов ТКО на деградацию биогеоценозов прибрежных зон водотоков и Черного моря. Природообустройство. 2021;(5):117–124. DOI: <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2021-5-117-124> EDN: YOUMNC
26. Свешникова Е. В., Романова Е. М., Любомирова В. Н., Романов В. В., Шленкина Т. М., Сергаченко С. Н. Оценка экологических процессов в ульяновских заливах реки Свияги. Ульяновский медицинско-биологический журнал. 2024;(1):130–147. DOI: <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-130-147> EDN: IMJDJI
27. Хотимченко С. А., Гмошинский И. В., Багрянцева О. В., Шатров Г. Н. Химическая безопасность пищи: развитие методической и нормативной базы. Вопросы питания. 2020;89(4):110–124. DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10047> EDN: AYWXUM
28. Самойлов А. В., Сураева Н. М. Перспективы использования растительного биотестирования для поиска метаболических биомаркеров токсичного потенциала компонентов пищевых матриц (обзор). Достижения науки и техники АПК. 2021;35(4):65–71. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10411> EDN: PXBSUE
29. Слайковская Е. С., Герман Н. В. Оценка экологического состояния водоема в микрорайоне «Родниковая долина» г. Волгограда. Самарский научный вестник. 2022;11(2):120–123. DOI: <https://doi.org/10.55355/snv2022112117> EDN: OQFVMQ
30. Николаева А. В., Родькин М. М., Кулишин А. В., Давлетяров Р. Р. Способ проведения экологического мониторинга с помощью аквакультуры: пат. № 2758337 Российская Федерация. №2020130512: заяв.16.09.2020; опубл. 28.10.21. Бюл. № 31. 9 с. Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
31. Гайсин М. Т., Родькин М. М. Способ проведения экологического мониторинга с применением биологических тест-объектов: пат. № 2802195 Российская Федерация. № 2022122236: заяв.16.08.22; опубл. 22.08.23. Бюл. №24. 7 с. Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
32. Шатохин А. В., Селезнев И. А., Ивакин Я. А., Греков А. Н., Греков Н. А., Коровин А. Н. Автоматизированный биосенсорный комплекс раннего оповещения для экологического мониторинга водной среды: пат. № 2779728 Российская Федерация. №2021124407: заяв.16.08.21; опубл. 12.09.22. Бюл. № 15. 12 с. Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
33. Трусевич В. В., Журавский В. Ю. Опыт использования пресноводных двустворчатых моллюсков-перловиц (*unio pictorum*) в качестве биосенсоров в системах автоматизированного биосенсорного контроля нефтяного загрязнения вод в системах водоснабжения населения. Экосистемы. 2023;34:193–198. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54133550> EDN: RYXFXF
34. Поляк Ю. М., Сухаревич В. И. Токсигенные цианобактерии: распространение, регуляция синтеза токсинов, способы их деструкции. Вода: химия и экология. 2017;(11-12):125–139. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yuuujo&ysclid=lx0sol1t463913884664> EDN: YUUIJO
35. Стоник И. В., Орлова Т. Ю. Сезонное накопление амнезиотоксина (домоевой кислоты) у промысловых двустворчатых моллюсков *mytilus trossulus gould*, 1850 и *mizuhopecten yessoensis jay*, 1850 в заливе Восток Японского моря. Биология моря. 2020;46(1):70–72. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0134347520010106> EDN: OMHLYX
36. Wu Sh.-J. Multi-location time-division water quality monitoring system: Patent US, no. 20220082546, 2020. URL: [https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/US20220082546A1\\_20220317?q=Multi-location%20time-division%20water%20quality%20monitoring%20system&from=search\\_simple&hash=2009640586](https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/US20220082546A1_20220317?q=Multi-location%20time-division%20water%20quality%20monitoring%20system&from=search_simple&hash=2009640586)

37. Бражникова А. М., Бражников А. М. Автономный подводный аппарат класса «микро» для мониторинга экологического состояния малых водоемов: полезная модель № 205389 Российская Федерация. № 2021105037: заяв. 28.02.21; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20. 12 с.  
Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
38. Новиков А. Е., Мелихов В. В., Медведева Л. Н., Костин В. Е., Московец М. В., Торопов А. Ю. Плавсредство для мониторинга природных и искусственных водоемов: полезная модель № 215787 Российская Федерация. № 2022127486: заяв. 21.10.2022; опубл. 27.12.2022. Бюл. № 36. 7 с.  
Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
39. Воробьев С. Н., Луцаева И. В., Покровский О. С., Сорочинский А. В. Устройство для определения гидрохимико-физических параметров водной среды: полезная модель № 210918 Российская Федерация. № 2021137989: заяв. 21.12.2021; опубл. 13.05.2022. Бюл. № 14. 6 с.  
Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
40. Охрименко С. Н., Охрименко Н. С., Рубанов И. Л. Универсальный буй для экологического мониторинга водоемов: пат. № 2796989 Российская Федерация. №2022132701: заяв.13.12.2022; опубл. 30.05.2023 Бюл. № 16. 5 с. Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
41. Воронич С. С., Роева Н. Н., Хлопаев А. Г. Организация наблюдений за качеством природной воды на территории Московской области. Проблемы региональной экологии. 2024;(1):81–84.  
DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2024-1-81-84> EDN: TSANVE
42. Трофимчук М. М. Энтропийный индекс – новые возможности в оценке экологического состояния водных экосистем. Метеорология и гидрология. 2020;(11):46–52.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44665531> EDN: YXDIPZ
43. Трофимчук М. М. Способ оценки экологического состояния водных объектов: пат. № 2721713 Российская Федерация. №2019133543: заяв. 21.10.2019; опубл. 21.05.2020. Бюл. № 15. 13 с.  
Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
44. Трофимчук М. М. Практическое применение энтропийного индекса для оценки экологического состояния водных экосистем. Водное хозяйство России: проблемы, технологии, управление. 2024;(2):23–37.  
DOI: <https://doi.org/10.35567/19994508-2024-2-23-37> EDN: FQTAFO
45. Некрасова Л. П. Мониторинг загрязнения природной воды методом флуоресцентной спектроскопии. Гигиена и санитария. 2022;101(5):578–582. DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-578-582> EDN: HVMCMP
46. Плотникова О. А., Тихомирова Е. И., Мельников Г. В. Сравнительный анализ избирательности флуоресцентных методов для экологического мониторинга экотоксикантов. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022;30(4):574–583.  
DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-574-583> EDN: QWWSOK
47. Темердашев З. А., Павленко Л. Ф., Ермакова Я. С., Корпакова И. Г., Елецкий Б. Д. Экстракционно-флуориметрическое определение хлорофилла «а» в природных водах. Аналитика и контроль. 2019;23(3):323–333. DOI: <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.001> EDN: NURXRI
48. Yang W. S., Lee S. Q., Je Ch. H., Hwang G., Lee H. K., Seok Ya. W., et al. Fluorescence sensor for measuring microalgae and method of operating the same: Patent US, no. №20200191695, 2020. URL: [https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/US20200191695A1\\_20200618?q=Fluorescence%20sensor%20for%20measuring%20microalgae%20and%20method%20of%20operating%20the%20same&from=search\\_simple&hash=971709134](https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/US20200191695A1_20200618?q=Fluorescence%20sensor%20for%20measuring%20microalgae%20and%20method%20of%20operating%20the%20same&from=search_simple&hash=971709134)
49. Гольцев В. Н., Каладжи М. Х., Кузманова М. А., Аллахвердиев С. И. Переменная и замедленная флуоресценция хлорофилла «а» – теоретические основы и практическое приложение в исследовании растений. Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2014. 220 с.
50. Крикун В. А., Салюк П. А. Автономный подводный зонд-флуориметр: пат. № 2753651 Российская Федерация. №2021100300: заяв. 11.01.2021; опубл. 19.08.2021. Бюл. № 23. 11 с.  
Режим доступа: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
51. Qin B., Wu T., Zhu G., Zhang Yu., Li W. Stereoscopic monitoring and data mining system and method for harmful lake cyanobacteria bloom: Patent US, no. 11402362, 2022. URL: [https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/US0011402362B2\\_20220802?q=Stereoscopic%20monitoring%20and%20data%20mining%20system%20and%20method%20for%20harmful%20lake%20cyanobacteria%20bloom&from=search\\_simple&hash=134466233](https://searchplatform.rospatent.gov.ru/doc/US0011402362B2_20220802?q=Stereoscopic%20monitoring%20and%20data%20mining%20system%20and%20method%20for%20harmful%20lake%20cyanobacteria%20bloom&from=search_simple&hash=134466233)
52. Голушков Н. А., Кокуев А. Г. Интегрированная платформа мониторинга водной среды прудового хозяйства. Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. 2023;(1):57–63. DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-1-57-63> EDN: GQZCBW

## References

1. Koronkevich N. I., Barabanova E. A., Zaytseva I. S. Assessment of current water consumption in the world and on continents, its impact on annual river flow. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk* = Herald of the Russian Academy of Sciences. 2022;92(3):256–264. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0869587322030057>
2. Gorskaya O. Yu. Improvement of methods of algolization and biomelioration of the Rostov NPP cooling pond and the near dam part of the Tsimlyansk reservoir. *Global'naya yadernaya bezopasnost'* = Global Nuclear Safety. 2023;(2):14–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26583/gns-2023-02-02>
3. Smirnova V. S., Tekanova E. V., Kalinkina N. M., Chernova E. N. Phytoplankton state and cyanotoxins in the Svyatozero lake bloom spot (Onega lake basin, Russia). *Voda i ekologiya: problemy i resheniya* = Water and Ecology: Problems and Solutions. 2021;(1(85)):50–60. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23968/2305-3488.2021.26.1.50-60>
4. Kумыков М. З. Eutrophication of fish-husbandry water reservoir and ways of its prophylaxis. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2008;3(19-1):216–217. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=14627281>
5. Melikhov V. V., Frolova M. V., Zibarov A. A., Moskovets M. V. Environmental assessment of modern biotechnology improve the quality of irrigation water for agricultural lands of the Volga-Don interfluv. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professional'noe obrazovanie* = Proceedings of Nizhnevolzhskiy Agrouniversity Complex: Science and Higher Vocational Education. 2019;(3):94–101. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41321235>
6. Mamas' N. N., Gorbenko A. Yu., Kudenko D. V. Current approaches to ecological and hydrogeological monitoring of water bodies. *Puti povysheniya effektivnosti oroshaemogo zemledeliya*. 2023;(3):151–160. (In Russ.). URL: <https://www.rosniipm-smi.ru/article?n=244>
7. Kutayava T. I., Ashikhmina T. Ya. Current state and problems of monitoring of surface water bodies in Russia (review). *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2021;(2):13–21. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2021-2-013-021>
8. Potapov V. P., Kuzmin D. G., Serous T. O. Scientific and practical foundations of the digital Uskat project and specific features of its implementation. *Ugol'*. 2022;(11):40–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18796/0041-5790-2022-11-40-47>
9. Amashukeli S. A. Development of digitalization in the field of use and protection of water bodies. *Aktual'nye problemy rossiyskogo prava* = Actual Problems of Russian Law. 2022;17(3):177–187. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17803/1994-1471.2022.136.3.177-187>
10. Vtoryy V. F., Vtoryy S. V. Prospects for environmental monitoring of agricultural facilities using unmanned aerial vehicles. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2017;(92):158–166. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30258921>
11. Shevyrnogov A. P., Vysotskaya G. S., Pisman T. I., Kononova N. A., Botwikh I. Yu. Perspective for global and regional monitoring of phytopigment dynamics in the ocean and land by earth remote sensing. *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Tekhnika i tekhnologii* = Journal of Siberian Federal University. Engineering & Technologies. 2023;16(1):104–114. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50245730>
12. Kutayava T. I., Rutman V. V., Ashikhmina T. Ya., Savinykh V. P. The use of satellite images to determine the boundaries of water bodies and study the processes of eutrophication. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2019;(3):28–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2019-3-028-033>
13. Kireycheva L. V., Lentyaeva E. A. The influence of agricultural production on pollution of water bodies. *Prirodobustroystvo* = Prirodobustroystvo. 2020;(5):18–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1997-6011/2020-5-18-27>
14. Kireycheva L. V., Lentyaeva E. A. Assessment of the quantity and quality of drainage and surface waters entering the river network of the Volga River basin from drainage systems of the non-chernozem zone of the Russian Federation. Land reclamation is an integral part of the formation and development of the agro-industrial complex of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation: Proceedings of the international scientific and practical conf. Moscow: *VNIIGidrotekhniki i melioratsii imeni A. N. Kostyakova*, 2019. pp. 215–221.
15. Kireycheva L. V., Yashin V. M., Lentyaeva E. A., Timoshkin A. D. Assessment of diffuse pollution with biogenic substances from agricultural lands in the Yakhroma River basin (Moscow region). Scientific problems of improving Russian rivers and ways to solve them: collection of scientific articles. Moscow: *Studiya FI*, 2019. pp. 379–384. URL: <https://www.elibrary.ru/frxpec>
16. Dzhumabaev M. S. Environmental monitoring of environmental objects: the essence of the concept. *AgroEkoInfo*. 2023;(3):7. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54181337>
17. Boldanova E. V. Evaluation of the trophic status of lake Baikal using remote sensing. *Geograficheskiy vestnik* = Geographical Bulletin. 2022;(2(61)):73–89. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-2-73-89>
18. Babich O. O., Rada A. O., Kulikova Yu. V., Sukhikh S. A. Study of coastal waters eutrophication level of Gdansk bay (Baltic sea) using earth remote sensing data. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Severo-Kavkazskiy region. Seriya: Estestvennye nauki* = Bulletin of Higher Education Institutes North Caucasus Region. Natural Sciences. 2023;(1(217)):35–42. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18522/1026-2237-2023-1-35-42>



19. Sherstobitov D. N., Ermakov V. V., Pystin V. N., Tupitsyna O. V. Monitoring of the development of blue-green algae in the Kuibyshev reservoir using remote sensing indices. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* = RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2023;31(2):232–240. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2023-31-2-232-240>
20. Kurganovich K. A. The satellite monitoring of eutrophication processes in a section of the transboundary Argun (Khailar) river using the surface algal bloom index (SABI) according to LANDSAT remote sensing data. *Vestnik Zabaykal'skogo gosudarstvennogo universiteta* = Transbaikal State University Journal. 2022;28(7):26–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21209/2227-9245-2022-28-7-26-33>
21. Gogolev D. G., Bukanova T. V., Kudryavtseva E. A. Kontsentratsiya khlorofilla «a» v yugo-vostochnoy chasti Baltiyskogo morya letom 2018 goda po sputnikovym dannym. *Vestnik Baltiyskogo federal'nogo universiteta im. I. Kanta. Seriya: Estestvennye i meditsinskie nauki* = IKBFU's Vestnik. Series: Natural and Medical Sciences. 2020;(4):83–91. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44392366>
22. Panasenko N. D., Ganzhur M. A., Ganzhur A. P. Multichannel satellite image application for water surface objects identification. *Inzhenernyy vestnik Dona* = Engineering Journal of Don. 2020;(12(72)):376–387. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=44760082>
23. Kalitov M. A. About the application of multispectral visualization in earth remote sensing. *Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta*. 2024;(1(135)):95–107. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.34680/2076-8052.2024.1\(135\).95-107](https://doi.org/10.34680/2076-8052.2024.1(135).95-107)
24. Arslanova M. M., Shornikova E. A., Muzieva M. I. The analysis of spatio-temporal features of microbiological and hydrochemical indicators of the rivers within Surgutsky and Oktyabrsky districts in Khanty-Mansi autonomous okrug – Yugra. *Samarskiy nauchnyy vestnik* = Samara Journal of Science. 2020;9(2):15–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17816/snv202102>
25. Gudkova N. K., Gorbunova T. L., Matova N. I. Influence of MSW landfills on degradation of biogeocenoses of coastal zones of water courses and the Black sea. *Prirodoobustroystvo* = Prirodoobustroystvo. 2021;(5):117–124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/1997-6011-2021-5-117-124>
26. Sveshnikova E. V., Romanova E. M., Lyubomirova V. N., Romanov V. V., Shlenkina T. M., Sergatenko S. N. Assessment of ecological processes in the Sviyaga river (Ulyanovsk region). *Ulyanovskiy mediko-biologicheskii zhurnal* = Ulyanovsk Medico-biological Journal. 2024;(1):130–147. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34014/2227-1848-2024-1-130-147>
27. Khotimchenko S. A., Gmoshinskiy I. V., Bagryantseva O. V., Shatrov G. N. Chemical food safety: development of methodological and regulatory base. *Voprosy pitaniya* = Problems of Nutrition. 2020;89(4):110–124. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2020-10047>
28. Samoylov A. V., Suraeva N. M. Prospects for the use of plant biotesting to search for metabolic biomarkers of the toxic potential of components of food matrices (review). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2021;35(4):65–71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2021-10411>
29. Slaykovskaya E. S., German N. V. The assessment of the ecological state of the reservoir in the Spring valley of Volgograd. *Samarskiy nauchnyy vestnik* = Samara Journal of Science. 2022;11(2):120–123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55355/snv2022112117>
30. Nikolaeva A. V., Rodkin M. M., Kulishin A. V., Davletyarov R. R. A method of environmental monitoring using aquaculture: Patent RF, no. 2758337, 2021. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
31. Gaysin M. T., Rodkin M. M. A method for conducting environmental monitoring using biological test objects: Patent RF, no. 2802195, 2023. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
32. Shatokhin A. V., Seleznev I. A., Ivakin Ya. A., Grekov A. N., Grekov N. A., Korovin A. N. Automated biosensor early warning system for environmental monitoring of the aquatic environment: Patent RF, no. 2779728, 2022. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
33. Trusevich V. V., Zhuravskiy V. Yu. Experience with freshwater bivalve mollusks (*unio pictorum*) as biosensors in systems for automated biosensor control of oil pollution of waters in systems water supply for the population. *Ekosistemy*. 2023;34:193–198. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54133550>
34. Polyak Yu. M., Sukharevich V. I. Toxic cyanobacteria: their occurrence, regulation of toxin production and control. *Voda: khimiya i ekologiya* = Water: Chemistry and Ecology. 2017;(11-12):125–139. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=yuujo&ysclid=lx0sol1t463913884664>
35. Stonik I. V., Orlova T. Yu. The seasonal accumulation of amnesic toxin (domoic acid) in commercial bivalves *mytilus trossulus* gould, 1850 and *mizuhopecten yessoensis* jay, 1850 in Vostok bay, sea of Japan. *Biologiya morya* = Russian Journal of Marine Biology. 2020;46(1):70–72. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0134347520010106>
36. Wu Sh.-J. Multi-location time-division water quality monitoring system: Patent US, no. 20220082546, 2020. URL: [https://searchplatform.ropatent.gov.ru/doc/US20220082546A1\\_20220317?q=Multi-location%20time-division%20water%20quality%20monitoring%20system&from=search\\_simple&hash=2009640586](https://searchplatform.ropatent.gov.ru/doc/US20220082546A1_20220317?q=Multi-location%20time-division%20water%20quality%20monitoring%20system&from=search_simple&hash=2009640586)
37. Brazhnikova A. M., Brazhnikov A. M. Autonomous underwater vehicle of the "micro" class for monitoring the ecological status of small reservoirs: the utility model RF, No. 205389, 2021. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)

38. Novikov A. E., Melikhov V. V., Medvedeva L. N., Kostin V. E., Moskovets M. V., Toropov A. Yu. Water craft for monitoring natural and artificial reservoirs: the utility model RF, No. 215787, 2022. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
39. Vorobev S. N., Lushchaeva I. V., Pokrovskiy O. S., Sorochinskiy A. V. A device for determining the hydrochemical and physical parameters of the aquatic environment: the utility model RF, No. 210918, 2022. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
40. Okhrimenko S. N., Okhrimenko N. S., Rubanov I. L. Universal buoy for environmental monitoring of reservoirs: Patent RF, no. 2796989, 2023. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
41. Voronich S. S., Roeva N. N., Khlopaev A. G. Organization of observations of natural water quality in the Moscow region. *Problemy regional'noy ekologii* = Regional Environmental Issues. 2024;(1):81–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1728-323X-2024-1-81-84>
42. Trofimchuk M. M. Entropy index: new opportunities in assessing the ecological state of aquatic ecosystems. *Meteorologiya i gidrologiya*. 2020;(11):46–52. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44665531>
43. Trofimchuk M. M. A method for assessing the ecological status of water bodies: Patent RF, no. 2721713, 2020. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
44. Trofimchuk M. M. Practical implementation of the entropy index in assessing the ecological state of water ecosystems. *Vodnoe khozyaystvo Rossii: problemy, tekhnologii, upravlenie* = Water Sector of Russia: Problems, Technologies, Management. 2024;(2):23–37. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35567/19994508-2024-2-23-37>
45. Nekrasova L. P. Monitoring of natural water pollution by fluorescence spectroscopy. *Gigiena i sanitariya* = Hygiene and Sanitation. 2022;101(5):578–582. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-5-578-582>
46. Plotnikova O. A., Tikhomirova E. I., Melnikov G. V. Comparative analysis of fluorescent methods selectivity for ecotoxins environmental monitoring. *Vestnik Rossiyskogo universiteta družby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti* = RUDN Journal of Ecology and Life Safety. 2022;30(4):574–583. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-4-574-583>
47. Temerdashev Z. A., Pavlenko L. F., Ermakova Ya. S., Korpakova I. G., Eletskiy B. D. Extraction-fluorimetric determination of chlorophyll "a" in the natural waters. *Analitika i kontrol'*. 2019;23(3):323–333. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15826/analitika.2019.23.3.001>
48. Yang W. S., Lee S. Q., Je Ch. H., Hwang G., Lee H. K., Seok Ya. W., et al. Fluorescence sensor for measuring microalgae and method of operating the same: Patent US, no. №20200191695, 2020. URL: [https://searchplatform.rosapatent.gov.ru/doc/US20200191695A1\\_20200618?q=Fluorescence%20sensor%20for%20measuring%20microalgae%20and%20method%20of%20operating%20the%20same&from=search\\_simple&hash=971709134](https://searchplatform.rosapatent.gov.ru/doc/US20200191695A1_20200618?q=Fluorescence%20sensor%20for%20measuring%20microalgae%20and%20method%20of%20operating%20the%20same&from=search_simple&hash=971709134)
49. Goltsev V. N., Kaladzi M. Kh., Kuzmanova M. A., Allakhverdiev S. I. Variable and delayed fluorescence of chlorophyll "a" – theoretical foundations and practical application in plant research. *Izhevsk: Institut komp'yuternykh issledovaniy*, 2014. 220 p.
50. Krikun V. A., Salyuk P. A. Autonomous underwater fluorimeter probe: Patent RF, no. 2753651, 2021. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
51. Qin B., Wu T., Zhu G., Zhang Yu., Li W. Stereoscopic monitoring and data mining system and method for harmful lake cyanobacteria bloom: Patent US, no. 11402362, 2022. URL: [https://searchplatform.rosapatent.gov.ru/doc/US0011402362B2\\_20220802?q=Stereoscopic%20monitoring%20and%20data%20mining%20system%20and%20method%20for%20harmful%20lake%20cyanobacteria%20bloom&from=search\\_simple&hash=134466233](https://searchplatform.rosapatent.gov.ru/doc/US0011402362B2_20220802?q=Stereoscopic%20monitoring%20and%20data%20mining%20system%20and%20method%20for%20harmful%20lake%20cyanobacteria%20bloom&from=search_simple&hash=134466233)
52. Golushkov N. A., Kokuev A. G. Integrated platform for monitoring fish farm aquatic environment. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika i informatika* = Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Management, Computer science and Informatics. 2023;(1):57–63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24143/2073-5529-2023-1-57-63>

#### Сведения об авторе

✉ Неваев Алексей Сергеевич, аспирант, ФГБОУ ВО «Ульяновский государственный университет», ул. Л. Толстого, 42, г. Ульяновск, Российская Федерация, e-mail: [contact@ulsu.ru](mailto:contact@ulsu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7208-7380>, e-mail: [voitto73@yandex.ru](mailto:voitto73@yandex.ru)

#### Information about the author

✉ Alexey S. Nevaev, post-graduate student, Ulyanovsk State University, L. Tolstoy St., 42, Ulyanovsk, Russian Federation, 432017, e-mail: [contact@ulsu.ru](mailto:contact@ulsu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-7208-7380>, e-mail: [voitto73@yandex.ru](mailto:voitto73@yandex.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author

## **Африканская чума свиней: вирусоносительство и роль выживших диких кабанов в сохранении и распространении инфекции (обзор)**

© 2024. Т. Ю. Беспалова✉, А. А. Глазунова

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

*Панзоотия африканской чумы свиней (АЧС) в Европе и Азии, вызванная вирусами I и II генотипов, привела к всестороннему научному изучению особенностей течения данной инфекции. Исследователи отмечали, что определенная доля заболевших животных выживает. Выявление серопозитивных (с антителами) животных в пострадавших от АЧС странах Европы было особенно заметно в популяциях дикого кабана. Давно и противоречиво обсуждается роль серопозитивных животных, переживших АЧС, в сохранении и распространении инфекции в популяции, поскольку потенциально их можно считать вирусоносителями. Цель обзора – обобщение современных научно-экспериментальных результатов по изучению у дикого евразийского кабана хронического течения АЧС, вирусоносительства и распространения инфекции от выживших серопозитивных животных. В Евразии в текущее время у восприимчивых животных отмечают разные формы заболевания АЧС: сверхострую, острую, подострую, реже хроническую и бессимптомную; последние вызваны циркуляцией вирусов АЧС пониженной вирулентности. Различают два типа выживших: 1) животные, у которых развивается персистирующая инфекция с периодической ремиссией и признаками от подострого до хронического течения; 2) животные, которые полностью выздоравливают и избавляются от инфекции. У выживших отмечена длительная персистенция и полная элиминация вируса: за последние десять лет экспериментально определены сроки выделения вируса в целом от 35 до 99 дней. Выжившие животные первого типа могут играть роль в распространении вируса в связи с периодической ремиссией. Серопозитивные выжившие животные второго типа в связи с их малым количеством, по мнению исследователей, не играют значительной эпизоотической роли в сохранении вируса АЧС в популяциях диких кабанов. Экспериментальная передача вируса АЧС от выживших кабанов на сегодняшний день изучена ограниченно и подобные исследования должны быть продолжены. Полученные знания в этих областях смогут улучшить понимание текущей ситуации по АЧС в дикой природе.*

**Ключевые слова:** штамм/изолят вируса АЧС, вирулентность, серопозитивные животные, носитель, передача, персистенция, хронический, бессимптомный

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии» (FGNM-2021-0004).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Беспалова Т. Ю., Глазунова А. А. Африканская чума свиней: вирусоносительство и роль выживших диких кабанов в сохранении и распространении инфекции (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):988–999. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.988-999>

Поступила: 28.05.2024

Принята к публикации: 18.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## **African swine fever: virus carriage and the role of surviving wild boar in the persistence and spread of infection (review)**

© 2024. Tatiana Yu. Bespalova✉, Anastasia A. Glazunova

Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Samara, Russian Federation

*The panzootic of African swine fever (ASF) in Europe and Asia caused by viruses of genotypes I and II has led to a comprehensive scientific study of the course of this infection. Researchers have noted that a certain proportion of diseased animals survive. Detection of seropositive (antibody-positive) animals in ASF-affected countries of Europe was especially noticeable in wild boar populations. The role of seropositive animals ASF survivors in the persistence and spread of infection in the population has been long and controversially debated, as they may potentially become persistently infected, acting as virus carriers. The aim of this review was to summarize the current scientific and experimental results on the chronic course of ASF in Eurasian wild boar, virus carriage and spread of infection from surviving seropositive animals. In Eurasia different forms of ASF disease are currently observed in susceptible animals: peracute, acute, subacute, less frequently chronic and asymptomatic; the latter are found to be caused by circulating ASF viruses (ASFV) of reduced virulence. Two types of*

survivors animals are distinguished: 1) animals that develop persistent infection with periodic viremia and signs of subacute to chronic course; 2) animals that recover completely and clear of infection. Long-term persistence and complete elimination of the virus have been observed in survivors: in the last ten years, the time of virus excretion has been experimentally determined to generally range from 35 to 99 days. Survivors of the 1<sup>st</sup> type may play a role in the spread of the ASFV due to periodic viremia. Seropositive survived animals of the 2<sup>nd</sup> type due to their small numbers are not considered by some researchers to play a significant epidemiological role in the persistence of ASFV in wild boar populations. Experimental transmission of ASFV from surviving wild boars has been studied to date to a limited extent, such research should be continued. The knowledge gained in these areas will improve the understanding of the current situation of ASF in wildlife.

**Keywords:** strain/isolate of ASF virus, virulence, seropositive animals, carrier, transmission, persistence, chronic, asymptomatic

**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-2021-0004).

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

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

**For citations:** Bepalova T. Yu., Glazunova A. A. African swine fever: virus carriage and the role of surviving wild boar in the persistence and spread of infection (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):988–999. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.988-999>

Received: 28.05.2024

Accepted for publication: 18.11.2024 Published online: 25.12.2024

Распространение африканской чумы свиней (АЧС) на пяти континентах земного шара представляет собой глобальную проблему – вирулентные штаммы вируса АЧС вызывают острую геморрагическую лихорадку у инфицированных животных со смертностью до 100 % [1]. Панзоотия АЧС в Европе и Азии среди домашних свиней и диких кабанов, вызванная вирусами I и II генотипов, а также их рекомбинантами, привела к всестороннему научному изучению особенностей течения данной инфекции. В популяции восприимчивых животных АЧС проявляется разными формами заболевания – от сверхострой и острой до хронической и бессимптомной. Такое разнообразие форм течения болезни связывают с вирулентностью возбудителя, вирусной дозой, изменениями в геноме, иммунобиологическими характеристиками вируса, различиями в иммунном ответе инфицированных животных, видом и возрастом восприимчивого хозяина [2, 3]. В Африке у животных-аборигенов (бородавочников (*Phacochoerus africanus*), кустарниковых свиней (*Potamochoerus larvatus*, *P. porcus*) и гигантских лесных свиней (*Hylochoerus meinertzhageni*)) АЧС протекает субклинически или бессимптомно ввиду их естественного иммунитета против вируса АЧС, при этом они являются резервуарами инфекции [4, 5, 6]. В то же время в популяции домашних свиней (*Sus scrofa domestica*) и евразийских диких кабанов (*Sus scrofa*) при последнем вторжении высоковирулентного вируса АЧС II генотипа на европейский континент была характерна острая форма с гибелью в течение двух недель [7]. Однако на протяжении текущей эпизоотии

АЧС исследователи отмечали, что определенная доля заболевших животных имела более длительное течение болезни, которое сопровождалось выработкой вирусоспецифических антител [8]. Эпизоотологические данные серологических исследований на АЧС в Восточной Европе с 2015 года показывали увеличение таких случаев, особенно в популяциях дикого кабана [9]. Выявление серопозитивных (с антителами) животных, которых вирусологическими и молекулярными методами диагностируют как АЧС-отрицательные, свидетельствует о выживании или выздоровлении животных после инфекции [7]. Поэтому мнение о том, что АЧС представляет собой высококонтагиозную болезнь, быстро распространяющуюся и уничтожающую всех свиней на пострадавшей ферме или всю популяцию диких кабанов в регионе, в настоящее время требует существенного пересмотра [9]. В Евразии у восприимчивых животных отмечают разные формы заболевания АЧС: сверхострую, острую, подострую, хроническую и бессимптомную. Последние повышают вероятность выживания больных животных [10, 11, 12] и, как было установлено, вызываются штаммами вируса АЧС I генотипа и ослабленными или умеренно вирулентными штаммами II генотипа [13, 14, 15].

Персистирующие или хронические инфекции проявляются постоянной или периодической вiremией и могут приводить к передаче вируса АЧС внешне здоровыми животными. И хотя это может быть не так важно для свиноводческих хозяйств со стратегией тотальной ликвидации в очаге всех пораженных и восприимчивых животных при вспышках АЧС, судьба



выживших имеет особое значение для диких кабанов, где такие животные будут оставаться в популяции в течение нескольких месяцев или лет [16]. При расследовании вспышек АЧС среди популяции дикого кабана давно и противоречиво обсуждается вопрос о том, являются ли серопозитивные животные, пережившие болезнь, эпизоотологически значимыми, поскольку потенциально их можно считать вирусоносителями и, следовательно, они могли бы играть роль в дальнейшем сохранении вируса АЧС в природе [7, 17]. Если эта роль подтвердится, то вирусоносительство выживших нужно будет учитывать при оценках риска, особенно в эндемичных по АЧС регионах.

Важными научными направлениями исследований, касающихся АЧС среди диких кабанов, которые были выявлены с помощью GAP-анализа, являются вопросы выяснения механизмов распространения инфекции и потенциала сохраняемости вируса в дикой природе, возможности и значения передачи инфекции путем прямого контакта среди кабанов с учетом их поведения [18]. Выявление серопозитивных животных в пораженных АЧС странах Европы и Азии послужило стимулом к научному изучению ряда вопросов, связанных: 1) с вирусоносительством и сроками выделения вируса выжившими животными; 2) с развитием хронической инфекции у восприимчивых животных в зависимости от вирулентности и дозы вируса АЧС; 3) с передачей вируса от выживших наивным животным в экспериментальных условиях. Большинство исследований, посвященных перечисленным вопросам, как правило, проводится на домашних свиньях, лишь некоторые включают в эксперименты кабанов. Однако эти виды животных существуют в разных условиях обитания и, не имея научных доказательств, не совсем корректно экстраполировать результаты наблюдений и экспериментов, проводимых с домашними свиньями, на природную инфекцию АЧС среди диких кабанов.

**Цель обзора** – анализ результатов современных научных исследований по изучению в экспериментальных условиях у диких кабанов хронического течения, вирусоносительства и

передачи вируса АЧС выжившими (серопозитивными) животными для определения их роли в персистенции и распространении инфекции в природе.

**Материал и методы.** Поиск источников проводили путем скрининга библиографических баз данных, научных электронных библиотек с поисковыми системами: Web of Science; Scopus; eLIBRARY.RU; Cyberleninka; Springer; Pubmed; Google Scholar. Критериями отбора служили ключевые слова: вирус АЧС, умеренно-вирулентный и низковирулентный (аттенуированный) штамм/изолят, негемадсорбирующий, дикий кабан, домашняя свинья, антитела, сероконверсия, серопозитивные животные, виремия, вирусоноситель, передача, персистенция, хронический, субклинический, бессимптомный, выживший, эндемичность. В соответствии с целью обзора отобраны и изучены данные 50 источников, опубликованных за последние десять лет.

**Основная часть. 1. Серопозитивные выжившие после АЧС дикие кабаны как потенциальный источник инфекции.** С начала появления в Европе в 2007 году вирус АЧС широко распространился во многих регионах, в том числе в Европейском союзе (ЕС) с 2014 года, Юго-Восточной Азии с 2018, Океании с 2019/20 и на Карибских островах с 2021 года<sup>1</sup> [19]. В настоящее время АЧС эндемична в странах Африки к югу от Сахары и некоторых районах Западной Африки, на острове Сардиния (Италия), а также, по недавним сообщениям, в Польше, странах Прибалтики, Вьетнаме<sup>2</sup> [20, 21]. В Восточной Европе в начале текущей эпизоотии основным источником АЧС являлся евразийский дикий кабан (*Sus Scrofa*), на его долю приходилось более 90 % вспышек [9]. В течение 2022-2023 гг. вирус АЧС сохранялся в популяциях диких кабанов в странах Балтии и на большей части Восточной и Центральной Европы с вовлечением новых территорий: Польши, Германии, Словакии, Венгрии, Румынии, Болгарии, Республики Чехия, материковой части Италии, Сербии, Северной Македонии, Боснии и Герцеговины, Косово, Черногории, Греции, Молдавии, Российской Федерации (РФ), Украины, Швеции, Хорватии<sup>3</sup> [19, 22].

<sup>1</sup>ФАО. Обновленная информация об африканской чуме свиней (АЧС) в Азиатско-Тихоокеанском регионе: 2024. URL: <https://www.fao.org/animal-health/situation-updates/asf-in-asia-pacific/en> (дата обращения: 25.03.2024).

<sup>2</sup>World Organisation for Animal Health, Animal disease events webpage, WAHIS database. Google Scholar, 2024. URL: [https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65b92d78ee7d4900139849e2/25\\_January\\_2024\\_African\\_swine\\_fever\\_in\\_Europe.pdf](https://assets.publishing.service.gov.uk/media/65b92d78ee7d4900139849e2/25_January_2024_African_swine_fever_in_Europe.pdf) (дата обращения: 25.03.2024).

<sup>3</sup>Там же.



Несмотря на принимаемые в странах меры по борьбе с АЧС, эпизоотия в дикой фауне продолжается, периодически возникают спорадические вспышки. Среди множества причин персистенции вируса АЧС в природе (присутствие животных с виремией, циркуляция вируса пониженной вирулентности, его устойчивость к факторам окружающей среды, длительное сохранение вируса в почве и трупах погибших кабанов, нарушение мер биобезопасности при охоте и др.) в качестве потенциальных источников вируса рассматривают и серопозитивных кабанов, переживших АЧС [7, 9, 17, 23]. В Европе в настоящее время серопозитивных кабанов выявляют в Венгрии, Польше, Румынии, Словакии, Прибалтике, РФ. Анализ данных серологических исследований, проведенных в странах ЕС и РФ, показал серопревалентность среди отстрелянных диких кабанов в диапазоне от 0,02 до 3,56 % (в районах, пораженных АЧС, – от 0,3 до 3,8 %) [24].

*Вирусоносительство и выжившие после АЧС животные.* Роль серопозитивного дикого кабана в качестве носителя вируса в распространении АЧС является многолетним предметом дискуссий в связи с противоречивыми данными экспериментов и эпизоотологических мониторингов. Ряд исследователей при оценке потенциального носительства, не находя доказательств передачи вируса от выживших животных, считают, что предполагаемая роль переоценена и должна быть пересмотрена [7, 17]. К тому же среди зарубежного научного сообщества отмечается некоторое разногласие – каких животных считать вирусоносителями? В эпизоотологической терминологии носитель – *carrier* (англ.) – это инфицированное животное без клинических признаков болезни, потенциально способное стать источником возбудителя<sup>4</sup>. Фактически термин “носитель” используется гораздо шире: кроме “здорового”, к носителям также относят переболевших животных на стадии выздоровления (реконвалесцентов), животных в инкубационном периоде или с субклиническим, латентным течением. Эпизоотологическое значение таких “скрытых” носителей заключается в стойкости поддерживаемых ими эпизоотических очагов, возникновении повторных вспышек болезни и зависит от вирулентности, количества и продолжительности выделения возбудителей. Наиболее

частым исходом носительства является полное исчезновение из организма патогенных возбудителей, но при неблагоприятных условиях носительство может переходить в хроническую форму различной продолжительности, нередко и пожизненной. Состояние вирусоносительства у животных определяют только лабораторным путем молекулярными и/или вирусологическими методами. В отношении АЧС еще с 1932 года в результате наблюдений и экспериментов отмечали переболевших (выживших) животных, которые могли выступать в качестве вирусоносителей [7]. В настоящее время ряд исследователей предполагает существование двух типов “выживших” после АЧС животных: 1) свиньи, у которых развивается персистирующая инфекция с периодической виремией и часто, но не всегда сопровождается некоторыми признаками от подострого до хронического течения заболевания, такие свиньи могут выделять вирус в связи с рецидивом виремии. В большинстве случаев при этом наблюдают повторное появление клинических признаков болезни и в конечном итоге животные погибают. Эти инфекции, как правило, связаны с умеренно- и низковирулентными вирусами; 2) свиньи, которые полностью избавляются от инфекции независимо от вирулентности вируса. Эти животные не являются персистентно инфицированными и в большинстве случаев не выделяют вирус дольше 30–40 дней после заражения. К. Сталь и соавт. (K. Ståhl et al., 2019) не рассматривают названные типы “выживших” как “здоровых” носителей [7]. Однако П. Эбл и соавт. (P. Eble et al., 2019), получив положительный результат на вирус АЧС в течение 55 дней у переболевших серопозитивных свиней, утверждали, что такие животные могут выделять вирус АЧС и передавать инфекцию, поэтому они называли их АЧС-носителями [25]. У К. Шульц и соавт. (K. Schulz et al., 2021) существование вирусоносителей также не вызывало сомнений, если таковыми считать животных, переживших АЧС-инфекцию, но все еще выделяющих вирус в течение определенного периода [26]. Сообщается и о здоровом вирусоносительстве серопозитивных домашних свиней при бессимптомной форме АЧС в свиноводческих хозяйствах Африки, причем в тех регионах, где вспышки АЧС не регистрировали [27].

<sup>4</sup>Терминологический справочник по эпизоотологии: учебное пособие. В. В. Макаров, Ю. И. Барсуков, Ю. А. Ватников [и др.]. М.: изд-во РУДН, 2023. 165 с.

*Сероконверсия и тропизм вируса АЧС.* Выработка вирусоспецифических антител при АЧС происходит примерно на четвертый-седьмой день после инфицирования [2, 16, 28, 29], а антитела сохраняются длительное время [30, 31, 32]. Серопозитивные животные зачастую дают ПЦР-отрицательные результаты на ДНК вируса в крови, поэтому возникают дискуссии о том, что не каждое серопозитивное животное может являться фактическим источником вируса. Однако следует учитывать, что вирус АЧС имеет тканевый тропизм – селезенка, костный мозг и лимфатические узлы (подчелюстные, окологлазные) демонстрировали более высокую общую вирусную нагрузку, и эти ткани могут служить лучшим образцом для молекулярной диагностики или выделения вируса [15]. Также у выживших животных в небольших количествах ДНК вируса обнаруживали в миндалинах, слюнных железах, печени, почках, легких, желудке [31, 33, 34]. Стоит отметить, что у серопозитивных свиней с хронической формой течения ДНК вируса обнаруживают и в образцах суставной ткани, при отрицательных результатах в общепринятых образцах органов и тканей этих животных [11, 35]. Ряд исследователей предполагает, что вирус АЧС у серопозитивных животных может реактивироваться при иммуносупрессии или стрессе, поэтому все же их следует рассматривать как вирусопозитивных особей и потенциальных переносчиков [28, 36]. Таким образом, противоречивые дискуссии о вирусоносительстве и действительной роли серопозитивных выживших животных, в частности диких кабанов, в эпизоотии АЧС диктуют необходимость получения экспериментальных доказательств продолжительности выделения и прямой контактной передачи вируса АЧС от хронически больных или реконвалесцентов.

*Определение сроков выделения вируса.* На сегодняшний день остается открытым вопрос о том, как долго может продолжаться выделение вируса АЧС у выживших животных, поскольку полученные результаты, как правило, обусловлены сроками проведения экспериментов и, вероятно, могут отличаться от истинных сроков выделения вируса при природной инфекции. В научном сообществе существует общее согласие с тем, что инфицированные вирусом АЧС особи при выживании выделяют патоген, по крайней мере, до 35 дней [26]. Хотя современные данные по срокам выделения вируса

у разных исследователей значительно варьируют: от 35–40 до 55–70 дней после заражения (dpi) [25, 34, 36, 37], наиболее продолжительное выделение установлено до 91 и 99 dpi [16, 28, 29].

*2. Экспериментальное заражение штаммами/изолятами вируса АЧС пониженной вирулентности, изучение хронического течения АЧС.* Большинство экспериментальных исследований с выжившими животными проводится на домашних свиньях и сравнительно мало изучаются в этом ключе дикие кабаны, что вероятно связано с ограниченным доступом и трудностями их содержания вне полевых условий. Евразийский дикий кабан очень восприимчив к вирусу АЧС и проявляет те же клинические признаки и летальность, что и домашние свиньи. С точки зрения достоверного переноса результатов и выводов на ситуацию с дикими кабанями ряд исследователей не видит существенных различий между домашними свиньями и дикими кабанями, поскольку получали очень схожие результаты параллельных испытаний обоих типов животных [16, 38, 39]. Но различия в условиях обитания, кормления, помимо биологических различий между домашними свиньями и кабанями, вероятно, могут влиять на патогенетические и иммунологические механизмы АЧС. Считается, что на кабанов в природе действуют факторы, которые могут снижать функцию их иммунной системы (внутривидовая агрессия, нагрузка различными патогенами, стрессы), что в свою очередь влияет на исход заражения вирусом АЧС [8]. В ряде экспериментов кабаны явно демонстрировали более высокую восприимчивость к вирусу АЧС, чем домашние свиньи [11, 14, 23, 40].

В Евразии в настоящее время отмечают несколько форм заболевания АЧС: сверхострую с внезапной гибелью на 3-5 сутки; острую, которая обычно через 6–14 (реже более 20) дней приводит к гибели до 100 % инфицированных свиней; подострую – показатели смертности ниже (30–70 %), а гибель происходит обычно через 15–45 дней с начала заражения; хроническую – смертность низкая, а продолжительность болезни составляет 2–15 месяцев; бессимптомную [25, 27, 28, 41].

*В экспериментах с домашними свиньями* в целом было установлено, что высоковирулентные штаммы вируса АЧС не имеют потенциала вызывать персистирующую инфекцию [42], умеренно вирулентные штаммы могут вызывать различные формы заболевания –

от острых до подострых, а низковирулентные, негемадсорбирующие штаммы могут вызывать субклиническую негеморрагическую инфекцию и сероконверсию (у таких животных отмечали выделение вируса при отсутствии виремии, клинических признаков или пирексии) [36]. Например, в опытах К. Гальярдо и соавт. (С. Gallardo et al., 2015) заражение домашних свиней низковирулентными штаммами приводило к развитию легкой формы заболевания и максимальному периоду выделения вируса из тканей на 99 dpi. Кроме того, была установлена передача инфекции контактными свиньям от выживших (72 dpi) животных с хронической формой, серопозитивность была выявлена с 35-го дня, что подтверждало позднюю передачу вируса от хронически инфицированных свиней. В то же время у бессимптомного серопозитивного животного вирус в крови и образцах тканей не был обнаружен в течение 134 дней эксперимента [28]. Исследования, проведенные на свиньях, зараженных низковирулентными (негемадсорбирующими) штаммами, также демонстрировали периодическую виремию низкого уровня, постоянное выделение вируса и передачу от выживших контактными животным в течение нескольких месяцев с развитием у последних признаков хронического заболевания. При этом эксперименты показали, что негемадсорбирующие изоляты передавались контактно менее эффективно (~ 40–50 %), чем вирулентные гемадсорбирующие изоляты (100 %) [14, 43, 44]. В другой работе при заражении свиней ослабленными штаммами за 24 дня не наблюдали клинических признаков, отмечали снижение виремии, все животные выжили. Высокие уровни специфических антител у свиней были связаны с хроническим течением АЧС, в то время как низкие уровни – с бессимптомной инфекцией [32]. Вирусы АЧС I генотипа также демонстрировали низкую вирулентность, вызывая у свиней легкое начало инфекции и хроническое заболевание, проявляющееся некротическими поражениями кожи и отеком суставов. Происходила передача инфекции контактными свиньям, у которых после эвтаназии в различных тканях была обнаружена низкая вирусная ДНК-нагрузка [45]. Стоит отметить, что в ряде долгосрочных экспериментов с домашними свиньями не удавалось вызвать передачу инфекции контактными животными. В исследовании выживших серопозитивных свиней, экспери-

ментально зараженных умеренновирулентным штаммом вируса АЧС I генотипа, была установлена длительная персистенция (виремия в течение 91 dpi) вируса с полной элиминацией из крови и тканей. За два месяца последующего совместного содержания с контактными животными от выживших (с 99 dpi) передачи вируса не произошло. Результаты эксперимента (165 дней) указывали на то, что после клинического выздоровления животные были способны элиминировать вирус и впоследствии не являлись источником инфекции [16]. Подобные данные были получены и в ходе эксперимента, проводимого на домашних свиньях с использованием высоко- и умеренновирулентных штаммов вируса АЧС II генотипа, выделенных в южной Эстонии в 2015 году. При совместном содержании выживших свиней, у которых отмечали высокий титр антител и отсутствие виремии, с контрольными свиньями за 103 дня не произошло передачи вируса АЧС. У контактных животных не отмечали клинические признаки, виремию или сероконверсию, и в конце эксперимента вирус выделить не удалось [11]. Т. Ох и соавт. (Т. Oh et al., 2021) во Вьетнаме более 14 месяцев наблюдали за естественно инфицированными и выздоравливающими после острой формы АЧС свиньями с целью изучения наличия носителей и рецидива заболевания. Несмотря на продолжительную виремию (до 70 дней), было определено, что свиньи принадлежали ко второму типу выживших. Животные имели длительный высокий уровень антител без персистенции виремии и не выделяли вирус после выздоровления, таким образом, и в этом долгосрочном исследовании реконвалесценты не были отнесены к вирусоносителям [37].

#### *Эксперименты с дикими кабанами.*

В отношении изучения хронического течения АЧС и вирусоносительства у кабанов был проведен ряд экспериментов с заражением низкими дозами высоковирулентных изолятов вируса. С. Блом и соавт. (S. Blome et al., 2012) не выявили признаков хронического заболевания или состояний носительства среди взрослых диких кабанов при заражении  $3 \times 10^6$  50%-ной культурально-клеточной инфекционной дозой кавказского изолята вируса АЧС [10]. У всех животных наблюдали тяжелые, неспецифические клинические признаки (лихорадка, депрессия, анорексия, одышка, атаксия), агонию и быструю смерть. Дж. Питчманн и соавт. (J. Pietschmann

et al., 2015) в экспериментах с европейским кабаном отмечали, что очень низкие дозы вируса АЧС достаточны для заражения ослабленных животных, у которых также отмечали неспецифические признаки и слабо выраженную лихорадку с летальным исходом. От первично инфицированных животных происходила медленная передача вируса всем интактным животным. Контагиозность была довольно низкой, но смертность составила 100 % примерно через 40 дней. В целом, и в этом исследовании не было обнаружено признаков хронического течения болезни [38].

Что касается исследований, проведенных среди диких кабанов с заражением вирусами различной вирулентности, Дж. А. Барасона и соавт. (J. A. Barasona et al., 2019) *in vivo* предоставили подробную информацию о клинических и патологических данных, выработке антител, периодах виремии и обнаружении ДНК-вируса в органах-мишенях 16 выживших кабанов, в том числе контактных. В экспериментах были использованы естественно аттенуированный полевой изолят (негемадсорбирующий штамм Lv17/WB/Riel II генотипа) и высоковирулентный гемадсорбирующий изолят (Arm07). У трех контактных животных, содержащихся совместно с кабанями, зараженными полевым изолятом, сероконверсию отмечали с 14-го дня, к окончанию эксперимента (54 дня) вирус не был обнаружен (полностью элиминирован). У двух контактных кабанов, ранее вакцинированных Lv17/WB/Riel и содержащихся совместно с кабанями, зараженными изолятом Arm07, на 7-9-й dpi наблюдали высокую сероконверсию и снижение виремии. По итогам эксперимента был сделан вывод, что выжившие животные, вакцинированные перорально, могут выделять вакцинный вирус, т. к. контактные кабаны демонстрировали сероконверсию и некоторые признаки виремии. Это могло означать, что дикие кабаны, выздоровевшие от АЧС, действуют как вирусоносители и обеспечивают персистентную инфекцию [46]. В дальнейшем исследовании вышеназванных изолятов А. Косовская и соавт. (A. Kosowska et al., 2020) установили, что в группе диких кабанов, зараженных ослабленным изолятом, вирус АЧС выделялся в меньших количествах по сравнению с вирулентной группой (естественно зараженной высоковирулентными изолятами). Передача вируса АЧС через кровь, поскольку она содержит высокую

вирусную нагрузку у инфицированных животных по сравнению с другими выделениями (слюна, фекалии), имеет особенно важное значение в популяциях диких кабанов из-за особенностей поведения (драк между самцами и др.). Интересно, что при исследовании крови в ослабленной группе было получено небольшое количество положительных образцов (11 %) на протяжении всего эксперимента, периоды виремии были прерывистыми, а риск передачи при контакте с инфицированной кровью был значительно ниже, чем от животных вирулентной группы [47]. М. Мартинес Авилес и соавт. (M. Martínez Avilés et al., 2023) установили, что у животных латентный период может составлять более одного месяца после контакта с животным, зараженным ослабленным вирусом АЧС (от 3,7 до 46,7 дня), в зависимости от количества случаев и пути заражения (пероральный или контактный). По результатам лабораторных тестов, среднее время до обнаружения инфекции у контактных животных составило 23,6 дня (от 13 до 34,2). Эти сведения важно учитывать, поскольку животные, инфицированные ослабленным штаммом, могут оставаться необнаруженными более двух недель, хотя в настоящее время для *Sus scrofa* инкубационный период в Кодексе ВОЗЖ (2022) установлен 15 дней [48].

В последние годы сообщалось о случаях хронического течения АЧС в популяции евразийского дикого кабана в природе. В исследовании Дж. Зель-Эверт и соавт. (J. Sehl-Ewert et al., 2022) у 15 из 16 диких кабанов, погибших от АЧС в естественных условиях и найденных в различных районах Германии, были выявлены антитела и патоморфологические признаки хронической инфекции АЧС, выраженные в разной степени и указывающие на продолжительное течение болезни (более 14 дней) [49]. Недавно М. Власов и соавт. (2024) представили результаты исследований изолятов вируса АЧС различной вирулентности, выделенных в 2007–2021 гг. из нескольких регионов РФ от домашних свиней и кабанов. Было установлено, что свиньи, экспериментально инфицированные изолятами вируса АЧС, выделенных от павших и отстрелянных больных диких кабанов, погибали с признаками сверхострой, острой и подострой форм болезни, кроме того, у некоторых свиней регистрировали хроническую форму. Показано, что при острой, подострой и хронической форме АЧС максимальные

показатели вируса и фрагменты его генома в крови инфицированных животных выявляли на 7–10-е сутки, при бессимптомном течении – на 10–14-е сутки. Интересно, что у свиней с хронической формой через 35 дней вирус из крови не выделяли, а количество вируса в селезенке, лимфатических узлах, легких и небных миндалинах у таких животных было ниже на  $1,5\text{--}2,5 \text{ Ig GAE50}/\text{см}^3$ , чем при острой и подострой формах. В случае с бессимптомным течением у животных, зараженных аттенуированным штаммом, через 35 dpi вирус в крови и органах не выделяли, а фрагменты генома вируса в эти сроки обнаруживали в низких концентрациях только в легких и лимфатических узлах, либо они отсутствовали. Сероконверсию наблюдали до окончания эксперимента (35 дней). Результаты показали, что вспышки АЧС в РФ могут быть вызваны как высоко-, так и низковирулентными вирусами [50].

Большое значение в оценке роли серопозитивных кабанов имеет количественное определение носителей в природе. Методами моделирования на основе данных экспериментальных исследований по проверке иммунитета у диких кабанов было рассчитано, что среди животных, инфицированных ослабленным штаммом вируса АЧС, 9 % оставались в состоянии носительства на более поздней стадии эпизоотии (через 200 дней), а инфекционность может сохраняться в течение нескольких лет ( $> 2$  лет), даже при небольшом проценте носителей (1 %), присутствующих в популяции [48]. Интересное исследование персистенции вируса АЧС у серопозитивных кабанов в Латвии и Литве было проведено Е. Ольшевский и соавт. (E. Oļševskis et al., 2023). Из 244 обследованных ранее животных, имеющих положительный результат теста на антитела и отрицательный на геном вируса АЧС в крови, только у двух молодых кабанов был обнаружен геном вируса в образцах костного мозга (1,1 %). В этой работе был сделан вывод, что серопозитивные животные, которые теоретически могут быть переносчиками вируса, практически не встречаются в полевых условиях. Их распространенность слишком низка, чтобы объяснить сохранение эпизоотии в тех масштабах, которые происходят в Латвии и Литве, и, следовательно, они не играют существенной эпизоотической роли с точки зрения контроля над заболеванием [17]. Данный вывод согласуется с результатами моделирования механизма передачи от выживших после АЧС кабанов, находившихся в фазе

выздоровления, которые ясно указывали на их незначительную роль в сохранении вируса [23].

3. *Изучение передачи вируса АЧС от выживших (эксперименты с кабанами).* В естественных условиях АЧС обычно распространяется при прямом контакте между зараженными и здоровыми животными или при контакте с инфицированными выделениями через обнюхивание или проглатывание. Экспериментальная ороназальная инокуляция имитирует естественную инфекцию, поскольку приводит к проникновению вируса АЧС через миндалины, слизистую оболочку полости рта и верхних дыхательных путей. Частое выявление антител к вирусу АЧС у кабанов, отстрелянных на северо-востоке Эстонии, привело к ряду исследований по передаче циркулирующего возбудителя АЧС от выживших животных с достаточно противоречивыми результатами (см. табл.). В опыте И. Нурмоджа и соавт. (I. Nurmoja et al., 2017) при совместном содержании в течение 46 дней выжившего серопозитивного кабана с контактными животными передачи инфекции не произошло. При этом было предположено, что состояние носительства не является неизбежным исходом для всех выживших животных [29]. В другом опыте сообщалось об успешной экспериментальной ороназальной передаче инфекции при исследовании эстонского изолята пониженной вирулентности на различных группах свиней, в том числе на кабанах (2 поросят и 3 взрослых). У последних в течение 10 дней после заражения суспензией, приготовленной из крови выжившего кабана в острой фазе болезни, наблюдали неспецифические клинические симптомы. При последующем вскрытии у павших кабанов были обнаружены типичные признаки острой инфекции АЧС, в образцах крови и тканей взрослых особей были высокие положительные результаты на вирусный геном, образцы тканей поросят показали более низкую геномную нагрузку [12].

В исследовании А. Косовская и соавт. (A. Kosowska et al., 2023) оценивали потенциальную передачу ослабленного изолята вируса АЧС между инфицированным диким кабаном и домашними свиньями при непосредственном контакте (через обнюхивание). Только у одной из пяти домашних свиней был короткий период виремии и сероконверсия, через 14 dpi передачи вируса наивным свиньям не произошло, что в целом свидетельствовало об отсутствии носителей со способностью к передаче инфекции [1].



Таблица – Изложение информации об экспериментальной передаче вируса АЧС от выжившего кабана /  
Table – Presentation of information on experimental transmission of ASF virus from a surviving wild boar

Исследование / Study	Передача / Transmission	Суть и результат эксперимента (кратко) / Essence and result of the experiment (briefly)
Нурмоджа И. и соавт. / Nurmoja I. et al. (2017)	Нет / No	Высоковирулентный эстонский изолят II генотипа / один выживший и полностью выздоровевший кабан с высоким уровнем антител в течение 96 дней / 3 контактных кабана 46 дней содержались совместно с выжившим / у контактных не было клинических признаков, образцы тканей на вирус и геном вируса отрицательные / Highly virulent Estonian isolate ASF virus genotype II / one wild boar survived and fully recovered with high antibody levels for 96 days / 3 contact wild boars were kept together with the survivor for 46 days / contact boars had no clinical signs, tissue samples were negative for ASF virus and virus genome.
Зани Л. и соавт. / Zani L. et al. (2018)	Да / Yes	Эстонский изолят пониженной вирулентности, выделен в острую фазу от выжившего и полностью выздоровевшего кабана / инокулированы ороназально 12 минипигов, 5 домашних свиней и 5 кабанов / неспецифическая клиника / выздоровление всех домашних свиней, но гибель всех кабанов в течение 17 дней / патоморфологические признаки острой инфекции / обнаружен вирусный геном / тесты на антитела отрицательные / Estonian isolate of reduced virulence, isolated during the acute phase from a surviving and fully recovered wild boar / inoculated oronasally 12 minipigs, 5 domestic pigs and 5 wild boars / nonspecific clinic / recovery of all domestic pigs but death of all wild boars within 17 days / pathomorphological signs of acute form infection / viral genome detected / antibody tests negative.

**Заключение.** По результатам анализа представленных в настоящем обзоре научных данных современных исследований по изучению у дикого евразийского кабана хронического течения АЧС, вирусоносительства и распространения инфекции от выживших серопозитивных животных сделаны следующие обобщения:

- различают два типа выживших: 1) животные, у которых развивается персистирующая инфекция с периодической виремией, вызванной умеренно- и низковирулентными вирусами; 2) животные, которые полностью выздоравливают и избавляются от инфекции независимо от вирулентности вируса;

- у выживших реконвалесцентов отмечена длительная персистенция и полная элиминация вируса: за последние десять лет экспериментально определены сроки выделения вируса в целом от 35 до 99 дней;

- экспериментальное заражение низкими дозами высоковирулентных изолятов вируса АЧС не приводило к хроническому течению или состоянию вирусоносительства среди диких кабанов;

- успешная экспериментальная передача вируса доказывает, что серопозитивные животные с хронической и персистентной инфекцией

(выжившие первого типа) могут играть роль в распространении вируса, и поскольку в настоящее время есть свидетельства обнаружения кабанов с признаками хронической инфекции, следует учитывать эту категорию выживших при расследовании вспышек АЧС;

- реконвалесценты (серопозитивные выжившие второго типа) в связи с их низкой распространенностью в дикой природе, по мнению ряда исследовательских групп, не играют значительной эпизоотической роли в персистенции вируса АЧС. Однако потенциал экспериментальной передачи вируса от выздоровевших кабанов изучен в ограниченном масштабе.

Таким образом, чтобы окончательно установить вклад серопозитивных выживших кабанов в поддержании циркуляции вируса в природе требуется дальнейшее широкое изучение механизмов передачи вируса АЧС, иммунного ответа, вирусоносительства. Также считаем, что о подострых, хронических и бессимптомных формах течения АЧС, наблюдаемых в странах Евразии в настоящее время, полезно знать всем заинтересованным сторонам (ветеринарным специалистам, охотникам, фермерам и др.), поскольку это может улучшить понимание текущей ситуации по АЧС.

## References

1. Kosowska A., Barasona J. A., Barroso-Arévalo S., Blondeau Leon L., Cadenas-Fernández E., Sánchez-Vizcaíno J. M. Low transmission risk of African swine fever virus between wild boar infected by an attenuated isolate and susceptible domestic pigs. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1177246. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1177246>
2. Blome S., Franzke K., Beer M. African swine fever - A review of current knowledge. *Virus Research*. 2020;287:198099. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2020.198099>
3. Ayanwale A., Trapp S., Guabiraba R., Caballero I., Roesch F. New Insights in the Interplay Between African Swine Fever Virus and Innate Immunity and Its Impact on Viral Pathogenicity. *Frontiers in Microbiology*. 2022;13:958307. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2022.958307>
4. Penrith M. L., Thomson G. R., Bastos A. D. S., Phiri O. C., Lubisi B. A., Du Plessis E. C., et al. An investigation into natural resistance to African swine fever in domestic pigs from an endemic area in southern Africa. *Revue Scientifique et Technique*. 2004;23(3):965–977. DOI: <https://doi.org/10.20506/rst.23.3.1533>
5. Feng W., Zhou L., Zhao P., Du H., Diao C., Zhang Y., et al. Comparative Genomic Analysis of Warthog and *Sus Scrofa* Identifies Adaptive Genes Associated with African Swine Fever. *Biology*. 2023;12(7):1001. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology12071001>
6. Danzetta M. L., Marenzoni M. L., Iannetti S., Tizzani P., Calistri P., Feliziani F. African Swine Fever: Lessons to Learn From Past Eradication Experiences. A Systematic Review. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:296. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00296>
7. Ståhl K., Sternberg-Lewerin S., Blome S., Viltrop A., Penrith Mary-L., Chenais E. Lack of evidence for long term carriers of African swine fever virus – a systematic review. *Virus Research*. 2019;272:197725. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2019.197725>
8. Sanchez-Cordon P. J., Nunez A., Neimanis A., Wikstrom-Lassa E., Montoya M., Crooke H., Gavier-Widen D. African Swine Fever: Disease Dynamics in Wild Boar Experimentally Infected with ASFV Isolates Belonging to Genotype I and II. *Viruses*. 2019;11(9):852. DOI: <https://doi.org/10.3390/v11090852>
9. Schulz K., Conraths F. J., Blome S., Staubach C., Sauter-Louis C. African Swine Fever: Fast and Furious or Slow and Steady? *Viruses*. 2019;11(9):866. DOI: <https://doi.org/10.3390/v11090866>
10. Blome S., Gabriel C., Dietze K., Breithaupt A., Beer M. High virulence of African swine fever virus caucasus isolate in European wild boars of all ages. *Emerging Infectious Diseases*. 2012;18(4):708. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid1804.111813>
11. Gallardo C., Nurmoja I., Soler A., Delicado V., Simón A., Martín E., et al. Evolution in Europe of African swine fever genotype II viruses from highly to moderately virulent. *Veterinary Microbiology*. 2018;219:70–79. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2018.04.001>
12. Zani L., Forth J. H., Forth L., Nurmoja I., Leidenberger S., Henke J., et al. Deletion at the 5'-end of Estonian ASFV strains associated with an attenuated phenotype. *Scientific Reports*. 2018;8:6510. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24740-1>
13. Gallardo C., Soler A., Rodze I., Nieto R., Cano-Gómez C., Fernandez-Pinero J., Arias M. Attenuated and non-haemadsorbing (non-HAD) genotype II African swine fever virus (ASFV) isolated in Europe, Latvia 2017. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2019;66:1399–1404. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.13132>
14. Sun E., Zhang Z., Wang Z., He X., Zhang X., Wang L., et al. Emergence and prevalence of naturally occurring lower virulent African swine fever viruses in domestic pigs in China in 2020. *Science China. Life Sciences*. 2021;64(5):752–765. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11427-021-1904-4>
15. Gao H., Di D., Wu Q., Li J., Liu X., Xu Z., et al. Pathogenicity and horizontal transmission evaluation of a novel isolated African swine fever virus strain with a three-large-fragment-gene deletion. *Veterinary Microbiology*. 2024;290:110002. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2024.110002>
16. Petrov A., Forth J. H., Zani L., Beer M., Blome S. No evidence for long-term carrier status of pigs after African swine fever virus infection. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2018;65(5):1318–1328. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12881>
17. Oļševskis E., Masiulis M., Seržants M., Lamberg K., Šteingolde Ž., Krivko L., et al. Do Seropositive Wild Boars Pose a Risk for the Spread of African Swine Fever? Analysis of Field Data from Latvia and Lithuania. *Pathogens*. 2023;12(5):723. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens12050723>
18. Макаров В. В. Африканская чума свиней через сто лет. *Ветеринария сегодня*. 2022;11(2):99–103. DOI: <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-99-103> EDN: ZVWWDN
19. Makarov V. V. African swine fever: one hundred years later. *Veterinariya segodnya* = Veterinary Science Today. 2022;11(2):99–103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29326/2304-196X-2022-11-2-99-103>
20. EFSA (European Food Safety Authority), Ståhl K., Boklund A., Podgórski T., Vergne T., Abrahantes J. C., et al. Epidemiological analysis of African swine fever in the European Union during 2022. *EFSA Journal* 2023;21(5):e08016. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2023.8016>
21. Frant M. P., Gal-Cisoń A., Bocian Ł., Ziętek-Barszcz A., Niemczuk K., Szczotka-Bochniarz A. African Swine Fever (ASF) Trend Analysis in Wild Boar in Poland (2014-2020). *Animals (Basel)*. 2022;12(9):1170. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani12091170>

21. Le V. P., Nguyen V. T., Le T. B., Mai N. T. A., Nguyen V. D., Than T. T., et al. Detection of Recombinant African Swine Fever Virus Strains of p72 Genotypes I and II in Domestic Pigs, Vietnam, 2023. *Emerging Infectious Diseases*. 2024;30(5):991–994. DOI: <https://doi.org/10.3201/eid3005.231775>
22. EFSA (European Food Safety Authority), Ståhl K., Boklund A., Podgórski T., Vergne T., Abrahantes J. C., et al. Scientific report on epidemiological analysis of African swine fever in the European Union during 2023. *EFSA Journal*. 2024;16(5):e8809. DOI: <https://doi.org/10.2903/j.efsa.2024.8809>
23. Gervasi V., Guberti V. African swine fever endemic persistence in wild boar populations: Key mechanisms explored through modelling. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021;68:2812–2825. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.14194>
24. Беспалова Т. Ю., Глазунова А. А. Выявление серопозитивных кабанов в Евразии как признак возможного формирования эндемичных по африканской чуме свиней территорий. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(4):527–537. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.527-537> EDN: VLPLWI
- Bespalova T. Yu., Glazunova A. A. Identification of seropositive wild boars in Eurasia as a sign of possible formation of African swine fever-endemic areas (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = *Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(4):527–537. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.4.527-537>
25. Eblé P. L., Hagenaaars T. J., Weesendorp E., Quak S., Moonen-Leusen H. W., Loeffen W. L. A. Transmission of African Swine Fever Virus via carrier (survivor) pigs does occur. *Veterinary Microbiology*. 2019;237:108345. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2019.06.018>
26. Schulz K., Schulz J., Staubach C., Blome S., Nurmoja I., Conraths F. J., Sauter-Louis C., Viltrop A. African Swine Fever Re-Emerging in Estonia: The Role of Seropositive Wild Boar from an Epidemiological Perspective. *Viruses*. 2021;13(11):2121. DOI: <https://doi.org/10.3390/v13112121>
27. Patrick B. N., Machuka E. M., Githae D., Banswe G., Amimo J. O., Ongus J. R., et al. Evidence for the presence of African swine fever virus in apparently healthy pigs in South-Kivu Province of the Democratic Republic of Congo. *Veterinary Microbiology*. 2020;240:108521. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2019.108521>
28. Gallardo C., Soler A., Nieto R., Sánchez M. A., Martins C., Pelayo V., et al. Experimental Transmission of African Swine Fever (ASF) Low Virulent Isolate NH/P68 by Surviving Pigs. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2015;62(6):612–622. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12431>
29. Nurmoja I., Petrov A., Breidenstein C., Zani L., Forth J. H., Beer M., et al. Biological characterization of African swine fever virus genotype II strains from north-eastern Estonia in European wild boar. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2017;64(6):2034–2041. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12614>
30. Walczak M., Wasiak M., Dudek K., Kycko A., Szacawa E., Olech M., Woźniakowski G., Szczotka-Bochniarz A. Blood Counts, Biochemical Parameters, Inflammatory, and Immune Responses in Pigs Infected Experimentally with the African Swine Fever Virus Isolate Pol18\_28298\_O111. *Viruses*. 2021;13(3):521. DOI: <https://doi.org/10.3390/v13030521>
31. Lai D. C., Oh T., Nguyen H. T., Do D. T. The study of antigen carrying and lesions observed in pigs that survived post African swine fever virus infection. *Tropical Animal Health and Production*. 2022;54(5):264. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03229-0>
32. Sereda A. D., Kazakova A. S., Namsrayn S. G., Vlasov M. E., Kolbasov D. V. The attenuated ASFV strains MK-200 and FK-32/135 as possible models for investigation of protective immunity by ASFV infection. *PLoS ONE*. 2022;17(7):e0270641. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0270641>
33. Pornthummawat A., Truong Q. L., Hoa N. T., Lan N. T., Izzati U. Z., Suwanruengsri M., et al. Pathological lesions and presence of viral antigens in four surviving pigs in African swine fever outbreak farms in Vietnam. *Journal of Veterinary Medical Science*. 2021;83(11):1653–1660. DOI: <https://doi.org/10.1292/jvms.21-0409>
34. Vlasov M., Sindryakova I., Kudryashov D., Morgunov S., Kolbasova O., Lyska V., et al. Administration Routes and Doses of the Attenuated African Swine Fever Virus Strain PSA-1NH Influence Cross-Protection of Pigs against Heterologous Challenge. *Animals*. 2024;14(9):1277. DOI: <https://doi.org/10.3390/ani14091277>
35. Шотин А. Р., Мазлум А., Иголкин А. С., Шевченко И. В., Елсукова А. А., Аронова Е. В., Власова Н. Н. Альтернативные подходы к диагностике африканской чумы свиней на территории Российской Федерации в 2017–2021 гг. *Вопросы вирусологии*. 2022;67(4):290–303. DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-112> EDN: HDMXYW
- Shotin A. R., Mazloun A., Igolkin A. S., Shevchenko I. V., Elsukova A. A., Aronova E. V., Vlasova N. N. Alternative approaches to the diagnosis of African swine fever in the Russian Federation in 2017–2021. *Voprosy Virusologii* = *Problems of Virology*. 2022;67(4):290–303 (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36233/0507-4088-112>
36. de Carvalho Ferreira H. C., Weesendorp E., Elbers A. R., Bouma A., Quak S., Stegeman J. A., Loeffen W. L. African swine fever virus excretion patterns in persistently infected animals: a quantitative approach. *Veterinary Microbiology*. 2012;160(3–4):327–340. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.vetmic.2012.06.025>
37. Oh T., Nguyen T. M., Ngo T. T. N., Thinh D., Nguyen T. T. P., Do L. D., Do D. T. Long-term follow-up of convalescent pigs and their offspring after an outbreak of acute African swine fever in Vietnam. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2021;68(6):3194–3199. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.14276>
38. Pietschmann J., Guinat C., Beer M., Pronin V., Tauscher K., Petrov A., Keil G., Blome S. Course and transmission characteristics of oral low-dose infection of domestic pigs and European wild boar with a Caucasian African swine fever virus isolate. *Archives of Virology*. 2015;160(7):1657–1667. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00705-015-2430-2>
39. Pepin K. M., Borowik T., Frant M., Plis K., Podgorski T. Risk of African swine fever virus transmission among wild boar and domestic pigs in Poland. *Frontiers in Veterinary Science*. 2023;10:1295127. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2023.1295127>

40. Mur L., Igolkin A., Varentsova A., Pershin A., Remyga S., Shevchenko I., Zhukov I., Sánchez-Vizcaíno J. M. Detection of African Swine Fever Antibodies in Experimental and Field Samples from the Russian Federation: Implications for Control. *Transboundary and Emerging Diseases*. 2016;63(5):e436–e440. DOI: <https://doi.org/10.1111/tbed.12304>
41. Dixon L. K., Ståhl K., Jori F., Vial L., Pfeiffer D. U. African Swine Fever Epidemiology and Control. *Annual Review of Animal Biosciences*. 2020;8:221–246. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-animal-021419-083741>
42. Guinat C., Reis A. L., Netherton C. L., Goatley L., Pfeiffer D. U., Dixon L. Dynamics of African swine fever virus shedding and excretion in domestic pigs infected by intramuscular inoculation and contact transmission. *Veterinary Research*. 2014;45(1):93. DOI: <https://doi.org/10.1186/s13567-014-0093-8>
43. Pikalo J., Zani L., Hühr J., Beer M., Blome S. Pathogenesis of African swine fever in domestic pigs and European wild boar - Lessons learned from recent animal trials. *Virus Research*. 2019;271:197614. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.virusres.2019.04.001>
44. Крутько С. А., Намсрайн С. Г., Середина А. Д. Иммунобиологические и молекулярно-генетические свойства негемадсорбирующих штаммов вируса африканской чумы свиней (обзор). *Сельскохозяйственная биология*. 2022;57(2):207–221. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.207rus> EDN: SGCNLV
- Krut'ko S. A., Namsrayn S. G., Sereda A. D. Immunobiological and molecular genetic properties of non-hemadsorbing african swine fever virus strains (review). *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = *Agricultural Biology*. 2022;57(2):207–221. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.2.207rus>
45. Sun E., Huang L., Zhang X., Zhang J., Shen D., Zhang Z., et al. Genotype I African swine fever viruses emerged in domestic pigs in China and caused chronic infection. *Emerging microbes & infections*. 2021;10(1):2183–2193. DOI: <https://doi.org/10.1080/22221751.2021.1999779>
46. Barasona J. A., Gallardo C., Cadenas-Fernández E., Jurado C., Rivera B., Rodríguez-Bertos A., Arias M., Sánchez-Vizcaíno J. M. First oral vaccination of Eurasian wild boar against African swine fever virus genotype II. *Frontiers in Veterinary Science*. 2019;6:137. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2019.00137>
47. Kosowska A., Cadenas-Fernández E., Barroso S., Sánchez-Vizcaíno J. M., Barasona J. A. Distinct African swine fever virus shedding in wild boar infected with virulent and attenuated isolates. *Vaccines*. 2020;8:767. DOI: <https://doi.org/10.3390/vaccines8040767>
48. Martínez Avilés M., Bosch J., Ivorra B., Ramos Á. M., Ito S., Barasona J. Á., Sánchez-Vizcaíno J. M. Epidemiological impacts of attenuated African swine fever virus circulating in wild boar populations. *Research in Veterinary Science*. 2023;162:104964. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rvsc.2023.104964>
49. Sehl-Ewert J., Deutschmann P., Breithaupt A., Blome S. Pathology of African Swine Fever in wild boar carcasses naturally infected with German virus variants. *Pathogens*. 2022;11(11):1386. DOI: <https://doi.org/10.3390/pathogens11111386>
50. Власов М. Е., Кудряшов Д. А., Синдюкова И. П., Севских Т. А., Пивова Е. Ю., Лыска В. М., Середина А. Д., Балышев Л. М. Сравнительная оценка патогенности вируса африканской чумы свиней, циркулирующего на территории Российской Федерации с 2007 года. *Ветеринария*. 2024;(4):28–35. DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.4.28-35> EDN: AQRZKO
- Vlasov M. E., Kudryashov D. A., Sindryakova I. P., Sevskikh T. A., Pivova E. Yu., Lyska V. M., Sereda A. D., Balyshev L. M. Comparative assessment of the pathogenicity of the african swine fever virus circulating in the Russian Federation since 2007. *Veterinariya* = *Veterinary*. 2024;(4):28–35. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2024.27.4.28-35>

#### Сведения об авторах

✉ **Беспалова Татьяна Юрьевна**, заместитель руководителя группы, Самарский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Магнитогорская, д. 8, г. Самара, Российская Федерация, 443013, e-mail: [samara@ficvim.ru](mailto:samara@ficvim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0264-0218>, e-mail: [27bt@mail.ru](mailto:27bt@mail.ru)

**Глазунова Анастасия Александровна**, заместитель руководителя группы, Самарский научно-исследовательский ветеринарный институт – филиал ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр вирусологии и микробиологии», ул. Магнитогорская, д. 8, г. Самара, Российская Федерация, 443013, e-mail: [samara@ficvim.ru](mailto:samara@ficvim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5615-1903>

#### Information about the author

✉ **Tatiana Yu. Bepalova**, deputy head of the group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Magnitogorskaya str., 8, Samara, Russian Federation, 443013, e-mail: [samara@ficvim.ru](mailto:samara@ficvim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0264-0218>, e-mail: [27bt@mail.ru](mailto:27bt@mail.ru)

**Anastasia A. Glazunova**, deputy head of the group, Samara Research Veterinary Institute – Branch of Federal Research Center for Virology and Microbiology, Magnitogorskaya str., 8, Samara, Russian Federation, 443013, e-mail: [samara@ficvim.ru](mailto:samara@ficvim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5615-1903>

✉ – Для контактов / Corresponding author



<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008>

УДК 633.19:632.938:631.527

## Ювенильная устойчивость районированных в Российской Федерации и перспективных сортов тритикале к грибным листовым болезням

© 2024. Е. В. Зуев , Т. В. Лебедева, Л. Г. Тырышкин

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

Тритикале – зерновая культура, созданная человеком в результате скрещивания пшеницы и ржи с целью объединения в одном организме лучших признаков от родительских видов. Ускоренному внедрению тритикале в практику и широкому ее возделыванию препятствует то, что многие коммерческие сорта, обладая высоким потенциалом продуктивности, отличаются недостаточной устойчивостью к полеганию и ряду опасных болезней. В 2023–2024 гг. изучали ювенильную устойчивость к четырем грибным болезням (листовая ржавчина, темно-бурая листовая пятнистость, септориоз, мучнистая роса) у 118 сортов из реестра РФ и перспективных сортов тритикале (озимого и ярового типа развития), переданных на ГСИ за последние 5 лет. Проростки заражали сборной популяцией *Puccinia triticina*, смесью изолятов *Bipolaris sorokiniana*, *Stagonospora nodorum* и *Blumeria graminis* f. sp. tritici, собранных в Северо-Западном регионе РФ. Оценку устойчивости к болезням проводили согласно методическому пособию ВИР. По результатам одного эксперимента из 118 образцов 93 были оценены как устойчивые к мучнистой росе. Однако по результатам трех независимых экспериментов среди озимой и яровой гексаплоидной тритикале только 27 и 12 сортов, соответственно, характеризовались высокой ювенильной устойчивостью к мучнистой росе. По результатам первого эксперимента 10 образцов отнесли к классу резистентных к листовой ржавчине, только озимый сорт Пахарь был устойчив к болезни по результатам трех независимых экспериментов. В настоящей работе все образцы были высоковосприимчивы к темно-бурой листовой пятнистости и септориозу. Таким образом, среди сортов тритикале выделены 39 устойчивых к мучнистой росе и 1 – к листовой ржавчине. Они представляют несомненный интерес для селекции. Также показано, что для выделения надежных источников устойчивости растительный материал должен изучаться не менее чем в трех независимых экспериментах.

**Ключевые слова:** *X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus., мучнистая роса, темно-бурая листовая пятнистость, септориоз, листовая ржавчина, источники устойчивости

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова» (тема № FGEM-2022-0009).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Зуев Е. В., Лебедева Т. В., Тырышкин Л. Г. Ювенильная устойчивость районированных в Российской Федерации и перспективных сортов тритикале к грибным листовым болезням. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):1000–1008. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008>

Поступила: 11.07.2024

Принята к публикации: 20.11.2023

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Juvenile resistance of zoned in the Russian Federation and promising triticale cultivars to leaf fungal diseases

© 2024. Evgeny V. Zuev , Tatyana V. Lebedeva, Lev G. Tyryshkin

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

Triticale is a grain crop developed by man as a result of crossing wheat and rye in order to combine the best traits of the parent species in a single organism. Fast introduction of triticale into practice and its wide spread cultivation is prevented by the fact that many commercial cultivars have high potential of productivity while varying in insufficient resistance to lodging and to a number of dangerous diseases. In 2023–2024 there was studied juvenile resistance to four fungal diseases (leaf rust, dark-brown leaf spot blotch, septoria blotch, powdery mildew) in 118 varieties from the register of the Russian Federation and promising triticale cultivars (winter and summer) included to the State Variety Testing over the past 5 years. The seedlings were infected with combined *Puccinia triticina* population, mixture of *Bipolaris sorokiniana*, *Stagonospora nodorum* and *Blumeria graminis* f. sp. tritici isolates collected in North-Western region of the Russian Federation. Disease resistance was evaluated according to the VIR methodology. By the results of one experiment, 93 samples of 118 were evaluated as resistant to powdery



*mildew. But according to the results of three independent experiments among winter and summer hexaploid triticale only 27 and 12 cultivars, respectively, were characterized by high juvenile resistance to powdery mildew. According to the results of the first experiment 10 samples were included into the class of leaf rust resistant. Only Pakhar winter cultivar was resistant to the disease according to the results of three independent experiments. All the samples of the research were highly susceptible to dark brown leaf spot blotch and septoriosiis. Thus, among the triticale cultivars 39 were marked as powdery mildew resistant and 1 – as leaf rust resistant. They are of certain interest for breeding. It was also shown that for selection of reliable sources of resistance the plant material should be studied in not less than three independent experiments.*

**Keywords:** *X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus., dark brown leaf spot blotch, septoriosiis, powdery mildew, leaf rust, sources of resistance

**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 Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources (theme no. FGEM-2022-0009).

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:** Zuev E. V., Lebedeva T. V., Tyryshkin L. G. Juvenile resistance of zoned in the Russian Federation and promising triticale cultivars to leaf fungal diseases. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1000–1008. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1000-1008>

Received: 11.07.2024

Accepted for publication: 20.11.2024

Published online: 25.12.2024

Тритикале (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) – зерновая культура, созданная человеком в результате скрещивания пшеницы и ржи с целью объединения в одном организме лучших признаков от родительских видов.

Традиционно считается, что тритикале удачно совмещает устойчивость и толерантность к биотическим и абиотическим стрессам ржи с продуктивностью и питательными качествами пшеницы.

Возделывают тритикале в 44 странах мира, почти во всех европейских странах как зернофуражную и кормовую укосную культуру. По данным ФАО, в 2022 г. наибольшие площади в мире под культурой были заняты в Польше – 12,3 млн га, на втором месте – Беларусь – 0,4 млн га. По валовому сбору также лидирует Польша – 5,4 млн т. Германия по производству тритикале занимает второе место в мире – 1,9 млн т. Высокая урожайность культуры достигнута в Бельгии – 6,89 т/га<sup>1</sup>.

В России, по данным Росстат, в 2023 г. озимая тритикале высевалась на площади 82,3 тыс. га. Валовой сбор культуры составил 2332,3 тыс. центнеров, средняя урожайность – 2,88 т/га. Значительные площади посевов и валовые сборы культуры отмечены в Приволжском, Центральном и Южном федеральных округах. Яровую тритикале высевали на площади 15,6 тыс. га, валовой сбор – 468 тыс. центнеров. Основные посевы и производство сосредоточены в Центральном федеральном округе. Урожайность яровой тритикале – 3,15 т/га<sup>2</sup>.

Коллекция тритикале Всероссийского института генетических ресурсов растений (ВИР) представляет огромный интерес для вовлечения в селекцию культуры. В настоящее время она насчитывает 4308 образцов основного каталога. В коллекции представлены гексаплоидные (3923), тетраплоидные (124) и октоплоидные (261) сорта и линии, то есть 91 % коллекции – гексаплоидные тритикале.

Коллекция тритикале представлена 3679 (85 %) селекционными линиями и 629 (15 %) сортами из 48 стран мира, преобладает материал из России (1832), Мексики (976), Украины (303), Беларуси (162).

В реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на территории РФ, на 2023 г. включены 101 сорт озимой тритикале и 26 – яровой<sup>3</sup>, из них в коллекции ВИР имеется 81 сорт озимой и 22 – яровой тритикале.

Ускоренному внедрению тритикале в практику и широкому ее возделыванию препятствует то, что многие коммерческие сорта, обладая высоким потенциалом продуктивности, отличаются недостаточной устойчивостью к полеганию и ряду опасных болезней [1].

Создание исходного селекционного материала тритикале с комплексом хозяйственно ценных признаков, отличающегося устойчивостью к мучнистой росе и бурой ржавчине, септориозу и другим патогенам, а также выделение форм с комплексной резистентностью – одно из приоритетных направлений селекции культуры на современном этапе [2].

<sup>1</sup>FAOSTAT. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fao.org/faostat/en/#home> (дата обращения: 15.03.2024).

<sup>2</sup>Федеральная служба Государственной статистики. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения: 15.03.2024).

<sup>3</sup>ФГБУ «Госсорткомиссия». [Электронный ресурс]. URL: <https://gossortrf.ru> (дата обращения: 15.03.2024).

Во многих регионах возделывания тритикале в настоящее время вредоносны листовая ржавчина (возбудитель *Puccinia trititica*), темно-бурая листовая пятнистость (*Bipolaris sorokiniana*), септориоз (*Stagonospora nodorum*), мучнистая роса (*Erysiphe graminis*) [3].

Эпифитотийное развитие этих и других грибных листовых болезней приводит к снижению урожайности и качества зерна данной культуры. Наиболее экономически эффективным и экологически безопасным методом борьбы с этими болезнями является возделывание устойчивых сортов. Среди источников и доноров устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости, септориозу и мучнистой росе особый интерес для селекции представляют генотипы, обладающие проростковой устойчивостью, так как, во-первых, она обычно экспрессируется на всех стадиях онтогенеза растения, во-вторых, устойчивые растения могут быть выявлены на ранних стадиях роста в образцах с использованием более простых и дешевых методов<sup>4</sup> [3].

**Цель исследования** – изучить ювенильную резистентность к четырем вредоносным грибным листовым болезням районированных и перспективных сортов тритикале (озимого и ярового типа развития) из коллекции ВИР и выделить образцы с высоким уровнем экспрессии признака.

**Научная новизна** – к настоящему времени выделено довольно большое количество источников резистентности к болезням<sup>5</sup> [4, 5, 6], но многие из них не подтвердили наличие резистентности в последующих экспериментах<sup>6</sup> [7]. Устойчивые сорта являются наиболее интересным материалом для селекции, поскольку, помимо резистентности, они обладают и другими полезными агрономическими свойствами (например, повышенной урожайностью, устойчивостью к полеганию и т. д.). Отметим, что районированные и перспективные для районирования в РФ сорта тритикале в подавляющем своем большинстве не оценивались на ювенильную устойчивость к болезням. Кроме того, учитывая существующее относительно недавно мнение об устойчивости большинства генотипов тритикале к болезням, результаты оценки резистентности могут внести вклад в представ-

ление об эволюции фитопатогенов и их адаптации к новой синтетической культуре. Вследствие этого характеристика районированных и перспективных для районирования сортов тритикале по ювенильной устойчивости к болезням представляет интерес как с практической, так и теоретической точки зрения. В результате исследования среди районированных и перспективных сортов тритикале выделены высокоустойчивые к мучнистой росе и листовой ржавчине. Показана восприимчивость всех сортов к темно-бурой листовой пятнистости и септориозу.

**Материал и методы.** В 2023-2024 гг. проводили исследования по изучению ювенильной устойчивости 118 сортов из реестра РФ и перспективных сортов тритикале, переданных на ГСИ за последние 5 лет, к четырем грибным листовым болезням (табл. 1). По типу развития образцы были озимыми (91), яровыми (24) и двуручками (3).

Ювенильную устойчивость к болезням сортов тритикале определяли по методике ВИР<sup>7</sup>. При изучении ювенильной устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости и септориозу семена образцов тритикале (20...30 шт.) высевали на смоченные водой ватные валики в пластиковые кюветы, которые после прорастания семян помещали на светоустановку (22 °C, постоянное освещение 2500 лк). Через 10 сут проростки (1-2 листа) помещали в пластиковые контейнеры с прозрачными стенками и опрыскивали суспензиями спор патогенов.

Проростки заражали сборной популяцией *P. trititica* (смесь сборов в Северо-Западном регионе России), которую поддерживали на листьях восприимчивых сортов пшеницы. Эта популяция была вирулентна к образцам пшеницы с известными генами устойчивости *Lr1*, *Lr2a*, *Lr2c*, *Lr3bg*, *Lr10*, *Lr11*, *Lr12*, *Lr13*, *Lr14a*, *Lr14b*, *Lr15*, *Lr16*, *Lr17*, *Lr18*, *Lr20*, *Lr21*, *Lr22a*, *Lr22b*, *Lr23*, *Lr25*, *Lr26*, *Lr28*, *Lr29*, *Lr27+31*, *Lr32*, *Lr33*, *Lr34*, *Lr35*, *Lr36*, *Lr37*, *Lr38*, *Lr43*, *Lr44*, *Lr45*, *Lr46*, *Lr48*, *Lr49*, *Lr52*, *Lr57*, *Lr60*, *Lr64* и авирулентна к генам резистентности *Lr9*, *Lr19*, *Lr24*, *Lr39* (= *Lr41*) и *Lr47*. Заражали экспериментальные растения водной суспензией уредоспор гриба ( $3 \times 10^4$  спор/мл).

<sup>4</sup>Тырышкин Л. Г. Генетическое разнообразие пшеницы и ячменя по эффективной устойчивости к болезням и возможности его расширения: дис. ... докт. биол. наук. СПб, 2007. 254 с.

<sup>5</sup>Абдуллаев К. М. Иммунологическое изучение мировой коллекции тритикале к возбудителям твердой головни и бурой ржавчины: дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1984. 234 с.

<sup>6</sup>Тырышкин Л. Г., Куркиев К. У. Каталог мировой коллекции ВИР. Тритикале. Характеристика образцов по ювенильной устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости и септориозу. СПб, 2010. Вып. 797. 20 с.

<sup>7</sup>Изучение генетических ресурсов зерновых по устойчивости к вредным организмам: методическое пособие. М.: РАСХН, 2008. 433 с. URL: [https://kosmais.narod.ru/downloads/cereal\\_crop\\_resist.pdf](https://kosmais.narod.ru/downloads/cereal_crop_resist.pdf)

**ОРИГИНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ: РАСТЕНИЕВОДСТВО /**  
**ORIGINAL SCIENTIFIC ARTICLES: PLANT GROWING**

*Таблица 1 – Районированные и перспективные сорта тритикале, изученные по ювенильной устойчивости к грибным листовым болезням /*

*Table 1 – Zoned and promising triticale cultivars studied for juvenile resistance to leaf fungal diseases*

<i>Происхождение / Origin</i>	<i>Кол-во сор- тов / Number of cultivars</i>	<i>Сорт, номер каталога ВИР, тип развития / Cultivar, VIR catalogue number, growth class</i>
1	2	3
Алтайский край, РФ / Altai region, RF	2	Алтайская 4 (к-3638) оз., Алтайская 5 (к-3639) оз. / 'Altajskaya 4' (k-3638) oz., 'Altajskaya 5' (k-3639) oz.
Владимирская обл., РФ / Vladimir region, RF	11	Амиго (к-3913) яр., Кармен (к-3933) яр., Норманн (к-3934) яр., Ровня (к-3935) яр., Аморе (к-4084) яр., Заозерье (к-4091) яр., Россия (к-4092) яр., Доброе (к-4150) яр., Судогда (к-4159) оз., Слово (к-4222) яр., Сельцо (к-4239) яр. / 'Amigo' (k-3913) yar., 'Karmen' (k-3933) yar., 'Normann' (k-3934) yar., 'Rovnya' (k-3935) yar., 'Amore' (k-4084) yar., 'Zaozer'e' (k-4091) yar., 'Rossika' (k-4092) yar., 'Dobroe' (k-4150) yar., 'Sudogda' (k-4159) oz., 'Slovo' (k-4222) yar., 'Sel'co' (k-4239) yar.
Воронежская обл., РФ / Voronezh region, RF	5	Тальва 100 (к-1508) оз., Доктрина 110 (к-3640) оз., Рондо (к-3641) оз., Укро (к-3644) яр., Горка (к-4075) оз. / 'Tal'va 100' (k-1508) oz., 'Doktrina 110' (k-3640) oz., 'Rondo' (k-3641) oz., 'Ukro' (k-3644) yar., 'Gorka' (k-4075) oz.
Дагестан, РФ / Dagestan, RF	1	ПРАГ 3 (к-1589) оз. / 'PRAG 3' (k-1589) oz.
Краснодарский край, РФ / Krasnodar region, RF	31	Прорыв (к-3763) оз., Хонгор (к-3765) оз., Сотник (к-3876) оз., Ярило (к-3895) яр., Макар (к-3914) оз., Лидер (к-3915) оз., Дозор (к-4021) оз., Брат (к-4024) оз., Валентин 90 (к-4074) дв., Князь (к-4076) оз., Кунак (к-4079) яр., Сват (к-4080) оз., Жнец (к-4151) оз., Хлебобороб (к-4152) дв., Ярик (к-4155) яр., Тит (к-4160) оз., Тихон (к-4183) оз., Уллубий (к-4185) оз., Савва (к-4211) яр., Орден (к-4236) яр., Явор (к-4237) яр., Илия (к-4249) оз., Слон (к-4250) оз., Гольдварг (к-4251) оз., Тимур (к-4252) яр., Пахарь (к-4285) оз., Глеб (к-4284) оз.*, Югория (к-4286) оз.*, Лука (к-4287) оз.*, Гирей (к-4288) оз.*, Илия 25 (к-4248) оз.* / 'Proryv' (k-3763) oz., 'Hongor' (k-3765) oz., 'Sotnik' (k-3876) oz., 'Yarilo' (k-3895) yar., 'Makar' (k-3914) oz., 'Lider' (k-3915) oz., 'Dozor' (k-4021) oz., 'Brat' (k-4024) oz., 'Valentin 90' (k-4074) dv., 'Knyaz' (k-4076) oz., 'Kunak' (k-4079) yar., 'Svat' (k-4080) oz., 'Zhneec' (k-4151) oz., 'Hleborob' (k-4152) dv., 'Yarik' (k-4155) yar., 'Tit' (k-4160) oz., 'Tihon' (k-4183) oz., 'Ullubij' (k-4185) oz., 'Savva' (k-4211) yar., 'Orden' (k-4236) yar., 'Yavor' (k-4237) yar., 'Iliya' (k-4249) oz., 'Slon' (k-4250) oz., 'Gol'dvarg' (k-4251) oz., 'Timur' (k-4252) yar., 'Pahar' (k-4285) oz., 'Gleb' (k-4284) oz.*, 'Yugoriya' (k-4286) oz.*, 'Luka' (k-4287) oz.*, 'Girej' (k-4288) oz.*, 'Iliya 25' (k-4248) oz.*
Курская обл., РФ / Kursk region, RF	1	Богуслав (к-4115) оз. / 'Boguslav' (k-4115) oz.
Ленинградская обл., РФ / Leningrad region, RF	2	Золотой гребешок (к-3677) яр., Билинда (4164) оз. / 'Zolotoj grebeshok' (k-3677) yar., 'Bilinda' (4164) oz.
Московская обл., РФ / Moscow region, RF	4	Виктор (к-2859) оз., Гермес (к-3561) оз., Антей (к-3562) оз., Немчиновский 56 (к-3861) оз. / 'Viktor' (k-2859) oz., 'Germes' (k-3561) oz., 'Antej' (k-3562) oz., 'Nemchinovskij 56' (k-3861) oz.
Новосибирская обл., РФ / Novosibirsk region, RF	2	Цекад 90 (к-3906) оз., Сирс 57 (к-4114) оз. / 'Sekad 90' (k-3906) oz., 'Sirs 57' (k-4114) oz.
Омская обл., РФ / Omsk region, RF	1	Омское (к-557) оз. / 'Omskoe' (k-557) oz.

Продолжение табл.

1	2	3
Ростовская обл., РФ / Rostov region, RF	29	Аллегро (к-2454) оз., ТИ 17 (к-2455) оз., Каприз (к-3584) оз., Кентавр (к-3601) оз., Аграф (к-3609) оз., Корнет (к-3636) оз., Дон (к-3637) оз., Бард (к-3839) оз., Трибун (к-3859) оз., Легион (к-3860) оз., Зимогор (к-3903) оз., Консул (к-3904) оз., Вокализ (к-3905) оз., Алмаз (к-3908) оз., Топаз (к-3909) оз., Ацтек (к-3930) оз., Сколот (к-3932) оз., Пилигрим (к-4020) оз., Капрал (к-4025) оз., Рамзай (к-4071) оз., Гектор (к-4090) оз., Атаман Платов (к-4139) оз., Саур (к-4140) яр., Донслав (к-4141) оз., Торнадо (к-4142) оз., Форте (к-4197) оз., Аргус (к-4213) оз., Ариозо (к-4214) оз., Приам (к-4137) оз. / 'Allegro' (k-2454) oz., 'TI 17' (k-2455) oz., 'Kapriz' (k-3584) oz., 'Kentavr' (k-3601) oz., 'Agraf' (k-3609) oz., 'Kornet' (k-3636) oz., 'Don' (k-3637) oz., 'Bard' (k-3839) oz., 'Tribun' (k-3859) oz., 'Legion' (k-3860) oz., 'Zimogor' (k-3903) oz., 'Konsul' (k-3904) oz., 'Vokaliz' (k-3905) oz., 'Almaz' (k-3908) oz., 'Topaz' (k-3909) oz., 'Actek' (k-3930) oz., 'Skolot' (k-3932) oz., 'Piligrim' (k-4020) oz., 'Kapral' (k-4025) oz., 'Ramzaj' (k-4071) oz., 'Gektor' (k-4090) oz., 'Ataman Platov' (k-4139) oz., 'Saur' (k-4140) yar., 'Donslav' (k-4141) oz., 'Tornado' (k-4142) oz., 'Forte' (k-4197) oz., 'Argus' (k-4213) oz., 'Ariozo' (k-4214) oz., 'Priam' (k-4137) oz.
Самарская обл., РФ / Samara region, RF	3	Кроха (к-3929) оз., Арктур (к-4161) оз., Спика (к-4162) оз. / 'Kroha' (k-3929) oz., 'Arktur' (k-4161) oz., 'Spika' (k-4162) oz.
Саратовская обл., РФ / Saratov region, RF	7	Студент (к-2899) оз., Саргау (к-3599) оз., Орлик (к-3910) оз., Юбилейная (к-3911) оз., Сюрприз (к-4158) оз., Георг (к-4207) оз., Айна (к-4292) оз.* / 'Student' (k-2899) oz., 'Sargau' (k-3599) oz., 'Orlik' (k-3910) oz., 'Yubilejnaya' (k-3911) oz., 'Syurpriz' (k-4158) oz., 'Georg' (k-4207) oz., 'Ajna' (k-4292) oz.*
Свердловская обл., РФ / Sverdlov region, RF	1	Сибард (к-4294) оз.* / 'Sibard' (k-4294) oz.*
Северная Осетия, Алания, РФ / Alania, RF	1	Гор (к-4293) оз.* / 'Gor' (k-4293) oz.*
Ставропольский край, РФ / Stavropol' region, RF	3	Ставропольский 5 (к-3937) оз., Квазар (к-3938) дв., Мамучар (к-3939) оз. / 'Stavropol'skij 5' (k-3937) oz., 'Kvazar' (k-3938) dv., 'Mamuchar' (k-3939) oz.
Тамбовская обл., РФ / Tambov region, RF	1	Акинак (к-4240) оз. / 'Akinak' (k-4240) oz.
Татарстан, РФ / Tatarstan, RF	2	Бета (к-3941) оз., Светлица (к-4241) оз. / 'Beta' (k-3941) oz., 'Svetlica' (k-4241) oz.
Беларусь / Belarus	6	Михась (к-3689) оз., Ульяна (к-3887) яр., Лотас (к-3889) яр., Кристалл (к-3902) оз., Гелио (к-4289) яр.*, Браво (к-4290) яр.* / 'Mihas' (k-3689) oz., 'Ul'jana' (k-3887) yar., 'Lotas' (k-3889) yar., 'Kristall' (k-3902) oz., 'Gelio' (k-4289) yar.*, 'Bravo' (k-4290) yar.*
Германия / Germany	1	ГСА 173 (к-4295) оз.* / 'GSA 173' (k-4295) oz.*
Украина / Ukraina	4	Простор (АД 550 кормовой (к-561) оз., Зенит Одесский (к-3451) оз., Амфидиплоид 256 (к-3617) оз., Гарнэ (к-3918) оз. / 'Prostor' (AD 550 kormovoj (k-561) oz., 'Zenit Odesskij' (k-3451) oz., 'Amfidiploid 256' (k-3617) oz., 'Garne' (k-3918) oz.
Всего / Total	118	

Примечание: оз. – озимая, яр. – яровая, дв. – двуручка; \* сорта, переданные на ГСИ /

Note: oz. – winter, yar. – spring, dv. – intermedium; \* – cultivars transferred to the State Varietal Testing

Возбудителя темно-бурой листовой пятнистости (*B. sorokiniana*) выделяли из листьев пшеницы, собранных в Северо-Западном регионе России, в чашках Петри на полуселективной среде ЧЛМ. Инукулюм размножали на среде ЧЛМ. Конидии с поверхности среды скальпелем переносили в воду. Концентрацию спор доводили до  $3 \times 10^4$  спор/мл.

Возбудителя септориоза (*S. nodorum*) выделяли из больных листьев пшеницы (Северо-Западный регион России) на картофельно-глюкозном агаре в чашках Петри и размножали на стерильной перловой крупе в колбах под ультрафиолетовым светом. Инокулировали растения суспензией спор пяти изолятов *S. nodorum*, полученной из равного количества

зараженных зерен каждого изолята. Конечная концентрация –  $10^6$  конидий/мл.

Контейнеры с зараженными растениями сразу закрывали полиэтиленовой пленкой, герметичной крышкой и помещали на светоустановку. На следующие сутки контейнеры с проростками, зараженными возбудителем ржавчины, открывали, а инокулированные возбудителями листовой пятнистости и септориоза оставляли закрытыми пленкой и крышкой до конца эксперимента.

Типы реакции на заражение ржавчиной определяли на 15-е сутки после инокуляции, используя шкалу Майнса и Джексона, где: 0 – отсутствие симптомов болезни; 0; – некрозы без пустул; 1 – очень мелкие пустулы, окруженные некрозом; 2 – пустулы среднего размера, окруженные некрозом или хлорозом; 3 – пустулы среднего и крупного размера без некроза [8]. Образцы с типами реакции 0–2 рассматривали как обладающие тем или иным уровнем устойчивости, 3 – как восприимчивые.

Развитие темно-бурой листовой пятнистости и септориоза определяли на седьмые сутки после заражения возбудителями по шкале: 0 – отсутствие симптомов поражения; 1, 2, 3, 4 – поражено 10, 20, 30, 40 % листовой поверхности соответственно; 5 – более 50 %; 6 – гибель листа. Поражение на 1-2 балла соответствует устойчивости, 3-4 – умеренной устойчивости, 5-6 – восприимчивости.

Ювенильную оценку устойчивости к мучнистой росе (Bgt) также проводили в лабораторных условиях. Размножение гриба, выращивание растений тритикале до стадии проростков и заражение испытуемого материала проводили в фитотроне (режим: 12 ч со светом,  $t = 16^\circ\text{C}$ ; 12 ч без света,  $t = 13^\circ\text{C}$ ). Через 7-8 дней после инокуляции проростков степень их поражения болезнью оценивали по шкале: 0 – иммунный или высокоустойчивый, нет видимого мицелия; 1 – устойчивый, слабое развитие мицелия; 2 – умеренно устойчивый, умеренное развитие мицелия, слабая споруляция; 3 – умеренно восприимчивый, умеренное развитие мицелия и умеренная споруляция; 4 – высоковосприимчивый, обильное развитие мицелия и обильная споруляция [9]. Северо-западная популяция гриба *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* Golovin (Bgt) характеризовалась наличием генов вирулентности к генам устойчивости пшеницы *Pm1a*, *Pm2*, *Pm3a-d*, *Pm4a*, *Pm5*, *Pm6*, *Pm7*, *Pm8*, *Pm9*, *Pm16*, *Pm17*, *Pm19* и авирулентности к *Pm12*.

Образцы, выделенные как устойчивые к конкретной болезни в первом эксперименте, проверяли на резистентность в двух дополнительных независимых опытах.

**Результаты и их обсуждение.** По результатам одного эксперимента, из 118 образцов 93 были оценены как устойчивые к мучнистой росе.

Однако по результатам трех независимых экспериментов среди озимой гексаплоидной тритикале только 27 сортов характеризовались ювенильной устойчивостью к мучнистой росе (0 баллов): Тальва 100 (к-1508), ПРАГ 3 (к-1589), Виктор (к-2859), Студент (к-2899), Антей (к-3562), Каприз (к-3584), Амфидиплоид 256 (к-3617), Доктрина 110 (к-3640), Михась (к-3689), Сотник (к-3876), Зимогор (к-3903), Топаз (к-3909), Орлик (к-3910), Юбилейная (к-3911), Мамучар (к-3939), Капрал (к-4025), Атаман Платов (к-4139), Торнадо (к-4142), Жнец (к-4151), Хлебобоб (к-4152), Сюрприз (к-4158), Судогда (к-4159), Георг (к-4207), Акинак (к-4240), Светлица (к-4241), Айна (к-4292), ГСА 173 (к-4295). Большинство устойчивых образцов было из Саратовской, Ростовской областей и Краснодарского края.

Умеренную устойчивость к Bgt (2 балла) показали образцы: Омское (к-557), Саргау (к-3599), Алтайская 5 (к-3639), Прорыв (к-3763), Бард (к-3839), Легион (к-3860), Немчиновский 56 (к-3861), Консул (к-3904), Вокализ (к-3905), Алмаз (к-3908), Дозор (к-4021), Сват (к-4080), Тит (к-4160), Арктур (к-4161), Тихон (к-4183), Форте (к-4197), Слон (к-4250), Глеб (к-4284). Остальные сорта сильно поражались мучнистой росой в стадии проростков (3 и 4 балла).

Высокую ювенильную устойчивость к мучнистой росе (0 баллов) имели 12 сортов яровой тритикале: Укро (к-3644), Золотой гребешок (к-3677), Ульяна (к-3887), Ярило (к-3895), Амиго (к-3913), Кармен (к-3933), Аморе (к-4084), Заозерье (к-4091), Россия (к-4092), Саур (к-4140), Савва (к-4211) и Браво (к-4290).

Умеренную устойчивость к популяции мучнисторосяного гриба (2 балла) показали яровые сорта тритикале Лотас (к-3889), Норманн (к-3934), Ровня (к-3935), Слово (к-4222), Гелио (к-4289), Ярик (к-4155), Орден (к-4236), Тимур (к-4252). Остальные яровые сорта тритикале не имели ювенильной устойчивости.

Результаты исследования ювенильной устойчивости к мучнистой росе образцов тритикале показали, что среди озимых сортов и двуручек 27 были устойчивыми (28,7 % от числа изученных этого типа развития), 18 – умеренно устойчивыми (19,1 %) и 49 восприимчи-



выми (52,2 %). Среди яровых сортов – 12 устойчивые к Bgt (50,0 % от общего числа изученных яровых), 7 – умеренно устойчивые (29,2 %) и 5 – восприимчивые к мучнистой росе (20,8 %).

Отметим, что на начальных этапах создания и селекции сортов тритикале эта культура рассматривалась как высокоустойчивая (и даже иммунная) к мучнистой росе. Изучение взаимодействия геномов пшеницы и ржи в контроле устойчивости к двум формам гриба *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* (Bgt), паразитирующего на пшенице, и *Blumeria graminis* f. sp. *secalis* (Bgs), паразитирующего на ржи, показало, что 554 образца тритикале разных уровней плоидности были высокоустойчивы к Bgs. Идентифицированы только единичные восприимчивые к болезни образцы [10]. Эксперимент по оценке устойчивости к мучнистой росе 300 образцов тритикале, проведенный в Дербенте в условиях интенсивного естественного провокационного фона, показал крайне небольшое наличие умеренно устойчивых и восприимчивых особей<sup>8</sup>. В данных опытах причиной обнаружения восприимчивых растений могла быть несбалансированность функционирования геномов пшеницы и ржи в одном организме и, как следствие, элиминация хромосом ржи, в которых локализованы гены устойчивости к мучнистой росе пшеницы [10]. Иммуитет растений F<sub>1</sub> пшенично-ржаных гибридов к обеим формам гриба, вероятно, связан с наличием в их генотипах полного набора хромосом пшеницы и ржи [10, 11].

Однако уже с начала 2000-х годов отмечается появление мучнистой росы на сортах тритикале предположительно в результате адаптации *Blumeria graminis* f. sp. *tritici* к новому хозяину. Многие сорта тритикале описаны как высоковосприимчивые к мучнистой росе, особенно в ювенильной стадии, что указывает на крайнюю узость генетического разнообразия тритикале по устойчивости к Bgt [12].

Таким образом, мучнистая роса становится серьезной болезнью тритикале [13]. Вследствие этого выделенные 39 высокоустойчивых образцов тритикале представляют несомненный интерес для селекции культуры на резистентность.

По результатам первого эксперимента оценки устойчивости к листовой ржавчине 10 образцов были отнесены к классу резистентных, однако только сорт озимой тритикале краснодарской селекции Пахарь (к-4285) был устойчив к болезни (тип реакции 0; 1) по результатам трех независимых экспериментов. Все остальные сорта проявили тип реакции 3.

Согласно современным научным представлениям, в Мировой коллекции ВИР присутствует большое количество образцов тритикале, обладающих эффективной устойчивостью к ржавчине [4, 5, 14]. При изучении в середине 80-х годов прошлого столетия ювенильной устойчивости к листовой ржавчине 1000 образцов гексаплоидной тритикале было выделено 255 высокоустойчивых<sup>9</sup>. Позднее, из 336 образцов гексаплоидной тритикале выделили 129 высокоустойчивых к двум географически удаленным популяциям возбудителя [4, 5]. Потом было выделено всего 19 образцов гексаплоидной тритикале, устойчивых к ржавчине, причем подавляющее большинство из них создано с привлечением *Secale montanum* и *Triticum timopheevii*<sup>10</sup> [7]. Узость генетического разнообразия тритикале по эффективной ювенильной устойчивости к листовой ржавчине подтверждается и настоящим исследованием – из 118 изученных образцов только один был резистентным к болезни.

Ранее из 420 изученных в стадии проростков образцов тритикале различного географического происхождения были выделены 105 резистентных к темно-бурой листовой пятнистости<sup>11</sup>. Установлено большое количество высокоустойчивых к септориозу форм (из 364 образцов – 22,73...73,08 % в зависимости от происхождения) [6]. В то же время генофонд коллекции тритикале ВИР крайне беден по эффективной проростковой устойчивости к листовой ржавчине, темно-бурой листовой пятнистости и септориозу<sup>12</sup>. В настоящей работе все образцы были высоковосприимчивы к темно-бурой листовой пятнистости и септориозу (6 баллов) уже по результатам одного эксперимента.

<sup>8</sup>Куркиев У. К. Селекционная ценность пшенично-ржаных амфидиплоидов (*Triticale*): автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Л., 1974. 29 с.

<sup>9</sup>Абдуллаев К. М. Указ. соч.

<sup>10</sup>Тырышкин Л. Г., Куркиев К. У. Указ. соч.

<sup>11</sup>Смурова С. Г. Новые источники и доноры устойчивости пшеницы к *Cochliobolus sativus* Drechs. Ex Dastur: дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2008. 236 с.

<sup>12</sup>Тырышкин Л. Г., Куркиев К. У. Указ. соч.

**Заключение.** Таким образом, среди сортов тритикале в стадии проростков выделены 39 устойчивых к возбудителю мучнистой росы и 1 – к возбудителю листовой ржавчины из Северо-Западного региона России. Все сорта восприимчивы к темно-бурой листовой пятнистости и септориозу. Несмотря на высокую частоту устойчивых к мучнистой росе форм тритикале, сортов с комплексной резистентностью не обнаружено. Выделенные устойчивые сорта представляют несомненный интерес для селекции на резистентность. Теоретически эти сорта могут оказаться восприимчивыми к болезням в других регионах вследствие различий в структурах популяций фитопатогенов. Отметим, однако, что эти различия наблюдаются чаще всего после широкого возделывания сортов с конкретными генами резистентности, что в настоящее время для тритикале неактуально.

Также хотим отметить очень важный методологический момент. Для выделения

надежных источников устойчивости растительный материал должен изучаться не менее чем в трех независимых экспериментах при инокуляции в одних и тех же условиях среды. Так, при сильном развитии мучнистой росы 93 сорта были устойчивы к болезни, но только 39 были оценены как резистентные к болезни по результатам трех независимых экспериментов. Аналогично по ржавчине: 10 оценены как устойчивые в первом эксперименте, но только один может рассматриваться как потенциальный источник резистентности к болезни по результатам трех независимых экспериментов. Данное утверждение очевидно верно и для полевых исследований: при использовании искусственных инфекционных фонов для выделения надежных источников резистентности необходимы 3-4-летние исследования, а на естественных фонах 9-10-летние опыты.

#### Список литературы

1. Медведев А. М., Лисеенко Е. Н., Митрошина О. В. К вопросу устойчивости озимой тритикале в Центральном Нечерноземье к наиболее опасным болезням и полеганию. Зернобобовые и крупяные культуры. 2022;(1(41)):90–98. DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-1-90-98> EDN: SDBUOT
2. Волошенко Л. В. Селекция озимого тритикале на устойчивость к основным грибным болезням. Стратегия и приоритеты развития земледелия и селекции полевых культур в Беларуси: мат.-лы Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 90-летию со дня основания РУП «Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию». Минск: ИВЦ Минфина, 2017. С. 248–249. Режим доступа: <https://izis.by/wp-content/uploads/Conference/2017/Сборник.pdf>
3. Arseniuk E. Triticale biotic stresses – an overview. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences. 2014;79(4):82–100. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_4)
4. Михайлова Л. А., Мережко А. Ф., Фунтикова Е. Ю. Генетический контроль устойчивости тритикале к бурой ржавчине. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010;(2):3–6. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33389438> EDN: LAIWPD
5. Михайлова Л. А., Мережко А. Ф., Фунтикова Е. Ю. Разнообразие тритикале по устойчивости к бурой ржавчине. Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. 2009;(5):27–29. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13021512> EDN: KYRXXV
6. Колесников Л. Е., Власова Э. А., Фунтикова Е. Ю., Колесникова Ю. Р. Устойчивость тритикале к основным возбудителям болезней, распространенным в Северо-Западном регионе Российской Федерации. Сельскохозяйственная биология. 2013;48(3):110–116. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.3.110rus> EDN: QZKYKT
7. Тырышкин Л. Г., Курбанова П. М., Куркиев К. У., Саруханов И. Г., Куркиев У. К. Эффективная ювенильная устойчивость гексаплоидного тритикале к бурой ржавчине. Защита и карантин растений. 2008;(10):25. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13794550> EDN: LPWNKD
8. Mains E. B., Jackson H. S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat. *Puccinia triticina* Erikss. Phytopathology. 1926;16:89–120.
9. Mains E. B., Dietz S. M. Physiologic form of barley mildew *Erysiphe graminis* DC. Phytopathology. 1930;20(3):229–239.
10. Ригин Б. В., Орлова И. Н. Пшенично-ржаные амфидиплоиды. Л.: Колос, 1977. 279 с.
11. Ригин Б. В., Лебедева Т. В. Взаимодействие геномов пшеницы и ржи в контроле устойчивости к мучнистой росе. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 1990;132:60–64.
12. Bouguennec A., Trottet M., Du Cheyron Ph., Lonnet Ph. Triticale powdery mildew: population characterization and wheat gene efficiency. Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences. 2014;79(4):106–121.
13. Troch V., Audenaert K., Bekaert B., Hofte M., Haesaert G. Phylogeography and virulence structure of the powdery mildew population on its 'new' host triticale. BMC Ecology and Evolution. 2012;12:76. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-76>
14. Груздев И. В., Захарова Е. В., Большакова Л. С., Соловьев А. А. Оценка образцов яровой тритикале (*Triticosecale* Wittm.) по устойчивости к бурой ржавчине (*Puccinia triticina* Erikss.) в полевых условиях московской области. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017;(3):5–18. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29897308> EDN: ZEGHWP

### References

1. Medvedev A. M., Liseenko E. N., Mitroshina O. V. To sustainability issue winter triticale to the most dangerous diseases and lodging in the central region of the non-chernozem zone. *Zernobobovye i krupnyanye kul'tury* = Legumes and Groat Crops. 2022;(1(41)):90–98. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2309-348X-2022-1-90-98>
2. Voloshenko L. V. Winter triticale breeding for resistance to main fungal diseases. Strategy and priorities for the development of agriculture and field crop breeding in Belarus: Proceedings of International scientific and practical conf., dedicated to the 90th anniversary of the founding of the RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Agriculture». Minsk: IVTs Minfina, 2017. pp. 248–249. URL: <https://izis.by/wp-content/uploads/Conference/2017/Сборник.pdf>
3. Arseniuk E. Triticale biotic stresses – an overview. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2014;79(4):82–100. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7\\_4](https://doi.org/10.1007/978-3-319-22551-7_4)
4. Mikhaylova L. A., Merezhko A. F., Funtikova E. Yu. Genetic control of resistance to stem rust in triticale. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 2010;(2):3–6. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/contents.asp?id=33389438>
5. Mikhaylova L. A., Merezhko A. F., Funtikova E. Yu. Triticale diversity in resistance to stem rust. *Doklady Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk* = Reports of the Russian Academy of agricultural sciences. 2009;(5):27–29. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13021512>
6. Kolesnikov L. E., Vlasova E. A., Funtikova E. Yu., Kolesnikova Yu. R. Triticale resistance to the main phytopathogenic organisms of northwest region of the Russian Federation. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2013;48(3):110–116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2013.3.110rus>
7. Tyryshkin L. G., Kurbanova P. M., Kurkiev K. U., Sarukhanov I. G., Kurkiev U. K. Effective juvenile resistance of hexaploid triticale to brown rust. *Zashchita i karantin rasteniy*. 2008;(10):25. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=13794550>
8. Mains E. B., Jackson H. S. Physiologic specialization in the leaf rust of wheat. *Puccinia triticina* Erikss. *Phytopathology*. 1926;16:89–120.
9. Mains E. B., Dietz S. M. Physiologic form of barley mildew *Erysiphe graminis* DC. *Phytopathology*. 1930;20(3):229–239.
10. Rigin B. V., Orlova I. N. Wheat-rye amphidiploids. Leningrad: *Kolos*, 1977. 279 p.
11. Rigin B. V., Lebedeva T. V. Interaction of wheat and rye genomes in the control of resistance to powdery mildew. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 1990;132:60–64. (In Russ.).
12. Bouguennec A., Trottet M., Du Cheyron Ph., Lonnet Ph. Triticale powdery mildew: population characterization and wheat gene efficiency. *Communications in Agricultural and Applied Biological Sciences*. 2014;79(4):106–121.
13. Troch V., Audenaert K., Bekaert B., Hofte M., Haesaert G. Phylogeography and virulence structure of the powdery mildew population on its 'new' host triticale. *BMC Ecology and Evolution*. 2012;12:76. DOI: <https://doi.org/10.1186/1471-2148-12-76>
14. Gruzdev I. V., Zakharova E. V., Bolshakova L. S., Soloviev A. A. Evaluation of spring triticale samples (*x-Triticosecale* Wittm.) for leaf rust resistance (*Puccinia triticina* Erikss.) in field experiments in moscow region conditions. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2017;(3):5–18. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=29897308>

### Сведения об авторах

✉ **Зуев Евгений Валерьевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190031, e-mail: [secretary@vir.nw.ru](mailto:secretary@vir.nw.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>, e-mail: [e.zuev@vir.nw.ru](mailto:e.zuev@vir.nw.ru)

**Лебедева Татьяна Вениаминовна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190031, e-mail: [secretary@vir.nw.ru](mailto:secretary@vir.nw.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2344-9233>

**Тырышкин Лев Геннадьевич**, доктор биол. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова», ул. Большая Морская, д. 44, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 190031, e-mail: [secretary@vir.nw.ru](mailto:secretary@vir.nw.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3502-549X>

### Information about the authors

✉ **Evgeny V. Zuev**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Bolshaya Morskaya St., 44, St. Petersburg, Russian Federation, 190031, e-mail: [secretary@vir.nw.ru](mailto:secretary@vir.nw.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9259-4384>, e-mail: [e.zuev@vir.nw.ru](mailto:e.zuev@vir.nw.ru)

**Tatyana V. Lebedeva**, PhD in Biological Science, senior researcher, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Bolshaya Morskaya St., 44, St. Petersburg, Russian Federation, 190031, e-mail: [secretary@vir.nw.ru](mailto:secretary@vir.nw.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2344-9233>

**Lev G. Tyryshkin**, DSc in Biological Science, leading researcher, Federal Research Center the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources, Bolshaya Morskaya St., 44, St. Petersburg, Russian Federation, 190031, e-mail: [secretary@vir.nw.ru](mailto:secretary@vir.nw.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3502-549X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

## Влияние агротехнических факторов на продуктивность полбы в условиях Северо-Запада РФ

© 2024. Т. В. Шайкова, М. В. Дятлова✉, А. А. Кузьмин

ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», г. Тверь,  
Российская Федерация

Представлены результаты исследований по изучению влияния основных агротехнических приемов на продуктивность, морфологические признаки, вынос и баланс элементов минерального питания пшеницы полбы сорта Псковитянка для разработки технологии возделывания и последующего внедрения в сельскохозяйственное производство региона. Исследования проведены в 2019–2023 гг. в условиях Псковской области. В полевом опыте изучали уровни минерального питания (без удобрений,  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ,  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ), нормы высева (5 и 6 млн всхожих семян/га) и сроки посева (I и II декада мая). В среднем за годы исследований урожайность зерна полбы получена на уровне 2,2 т/га. Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$  обеспечило рост зерновой продуктивности на 0,15 и 0,30 т/га в сравнении с контрольным вариантом при нормах высева 5 и 6 млн семян/га соответственно. Повышение дозы удобрений до  $N_{90}P_{90}K_{90}$  способствовало получению прибавки к контролю 0,33–0,34 т/га зерна при нормах высева 6 и 5 млн всхожих семян/га соответственно, снижение урожайности при норме 6 млн шт/га произошло за счет образования меньшего количества продуктивных стеблей. Внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{120}P_{120}K_{120}$  было малоэффективным, урожайность зерна получена на уровне варианта  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Урожайность полбяной соломы составила от 3,22 до 3,47 т/га. Анализ растительных образцов показал, что в зерне в большей мере накапливаются азот и калий, в меньшей степени – фосфор. В полбяной соломе больше всего содержится калия, промежуточное значение занимает азот, меньше всего накапливается фосфора. В среднем за годы исследований установлено, что при возделывании полбы в контроле с урожаем выносятся с 1 га 65–72 кг азота, 27–28 кг фосфора, 82–85 кг калия. Только при внесении дозы минеральных удобрений  $N_{90}P_{90}K_{90}$  полностью покрывалась потребность растений полбы в азоте и калии, вынос фосфора с урожаем компенсировался меньшими дозами в варианте  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

**Ключевые слова:** пшеница полба (*Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl.), сроки сева, нормы высева, минеральные удобрения, урожайность, вынос, баланс

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шайкова Т. В., Дятлова М. В., Кузьмин А. А. Влияние агротехнических факторов на продуктивность полбы в условиях Северо-Запада РФ. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1009–1018.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1009-1018>

Поступила: 06.09.2024

Принята к публикации: 28.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## The influence of agronomic factors on the productivity of emmer wheat in the conditions of the North-West of the Russian Federation

© 2024. Tatiana V. Shaykova, Marina V. Dyatlova✉, Andrey A. Kuzmin

Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russian Federation

The article presents the results of studies on the influence of the main agricultural practices on the productivity, morphological characteristics, removal and balance of mineral nutrition elements of the Pskovityanka emmer wheat cultivar for the development of cultivation technology and subsequent introduction into agricultural production in the region. The studies were conducted in 2019–2023 in the conditions of the Pskov region. The field experiment studied the levels of mineral nutrition (without fertilizers,  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ,  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ), seeding rates (4, 5 and 6 million viable seeds/ha) and sowing dates (first and second ten days of May). On average, over the years of research, the emmer wheat grain yield was obtained at the level of 2.2 t/ha. The application of mineral fertilizers at a dose of  $N_{60}P_{60}K_{60}$  ensured the growth of grain productivity in comparison with the control variant at seeding rates of 5 and 6 million seeds/ha by 0.15 and 0.3 t/ha, respectively. Increasing the fertilizer dose to  $N_{90}P_{90}K_{90}$  contributed to obtaining an increase in the control of 0.33–0.34 t/ha of grain at seeding rates of 6 and 5 million pcs/ha, respectively. Decrease in yield at the norm of 6 million pcs/ha was due to the development of a smaller number of productive stems. The application of mineral fertilizers at a dose of  $N_{120}P_{120}K_{120}$  was ineffective, the grain yield was obtained at the level of the variant with  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . The yield of the emmer wheat straw was from 3.22 to 3.47 t/ha. Analysis of plant samples shows that nitrogen and potassium accumulate in grain to a greater extent, phosphorus to a lesser extent. Emmer wheat straw contains the most potassium, nitrogen has an intermediate value, phosphorus is accumulated the least. On average, over the years of the research it has been established that when cultivating emmer wheat, from 65–72 kg of nitrogen, 27–28 kg of phosphorus, and 82–85 kg of potassium are removed with the yield from 1 ha with the control crop. Only when applying a dose of mineral fertilizers  $N_{90}P_{90}K_{90}$  the need of emmer wheat for nitrogen and potassium is fully covered, the removal of phosphorus with the yield is compensated by smaller doses in the  $N_{60}P_{60}K_{60}$  variant.

**Keywords:** emmer wheat (*Triticum dicoccum* Schrank ex Schübl.), sowing dates, seeding rates, mineral fertilizers, yield, removal, balance



**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops (theme No. FGSS-2024-0001). The authors thank the reviewers for their contribution to the expert evaluation of this work.

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

**For citation:** Shaykova T. V., Dyatlova M. V., Kuzmin A. A. The influence of agronomic factors on the productivity of emmer wheat in the conditions of the North-West of the Russian Federation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1009–1018. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1009-1018>

Received: 06.09.2024

Accepted for publication: 28.11.2024

Published online: 25.12.2024

В Федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства РФ на 2017–2030 гг. отмечено, что производство зерна является стратегической отраслью, от развития которой в значительной степени зависит продовольственная безопасность страны, обеспеченность населения продуктами питания. Особо выделены задачи по увеличению производства и высева сортов зерновых культур отечественной селекции, а также сохранение и внедрение в селекционный процесс редких видов пшениц (в частности полбы) для использования в производстве пищевой продукции, в том числе для диетического питания.

По данным Росстата<sup>1</sup>, в Российской Федерации в 2024 г. зерновые и зернобобовые культуры занимали 46,127 млн га посевной площади, что составляет 57,5 % от общей площади посевов сельскохозяйственных культур. Посевы пшеницы, например, размещались на 28,506 млн га.

На 2024 г. в Государственный реестр селекционных достижений РФ внесено 7 отечественных сортов пшеницы полбы, из которых 4 рекомендованы для всех регионов возделывания. Новый сорт пшеницы полбы Псковитянка, характеризующийся содержанием белка на уровне 17,6–18,6 %, является результатом совместной работы сотрудников ФГБНУ ФНЦ ЛК ОП Псковский НИИСХ и ФГБНУ ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова»<sup>2</sup> [1].

Современная работа по селекции пшеницы полбы направлена на снижение показателя пленчатости зерна, затрудняющей обмолот, повышение белковости зерна, устойчивости растений к полеганию, адаптивности к почвенно-климатическим условиям регионов для получения высококачественного зерна для нужд крупяной и макаронной промышленности [2, 3].

Яровая пшеница полба – это уникальная крупяная культура, в зерне которой содержатся необходимые человеку витамины, микроэлементы, незаменимые аминокислоты, полиненасыщенные жирные кислоты. Включение

в рацион полбы, по мнению ученых и диетологов, способствует укреплению иммунитета человека, нормализует работу сердечно-сосудистой и нервной систем [4]. Зерно полбы, отличающееся низким содержанием клейковины, пригодно для получения продукции, предназначенной для людей, страдающих аллергией на глютен, и производства продуктов здорового питания. За счет высокого содержания белка в зерне полбы (до 20 %) полученной продукцией из нее можно восполнить дефицит белка в питании населения [5, 6].

Ценными биологическими особенностями пшеницы полбы являются скороспелость, устойчивость к полеганию, засухе, к колосовым и листовым болезням, холодостойкость [7].

Возрастающий спрос на зерно полбы обусловил направление исследований по изучению основных элементов агротехнологии возделывания культуры в почвенно-климатических условиях Северо-Западного региона для успешного внедрения пшеницы полбы сорта Псковитянка в сельскохозяйственное производство. В задачи исследований входило – определение оптимальных сроков сева, норм высева, доз минеральных удобрений для получения урожая зерна высокого качества на основе биологических признаков и свойств сорта с учетом меняющегося климата в регионе.

Учитывая особенность пшеницы полбы слабо кустится, ряд исследователей указывают на хорошую отзывчивость культуры на повышение нормы высева, которая в разных климатических условиях регионов составляет от 3,5 до 6,0 млн всхожих семян на 1 га [2, 6, 8].

Высокий фон минерального питания и сбалансированность питательных элементов является обязательным условием для получения высокого качественного урожая зерновых культур [9, 10]. Дозы и сроки внесения минеральных удобрений требуют уточнения с учетом потребности культуры и почвенно-климатических условий региона.

<sup>1</sup>Федеральная служба государственной статистики. Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13277> (дата обращения: 14.08.2024).

<sup>2</sup>Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Т. 1. Сорта растений. Патент №11372. Регистр. 12.01.2021. URL: <file:///D:/Мои%20документы/Загрузки/ПСКОВИТЯНКА.pdf>



**Цель исследований** – изучение влияния основных агротехнических приемов на продуктивность, морфологические признаки, вынос и баланс элементов минерального питания полбы сорта Псковитянка.

**Научная новизна** – впервые в условиях Псковской области (Северо-Западный регион РФ) изучено влияние норм высева, сроков посева и доз минеральных удобрений на продуктивность, морфологические признаки, вынос и баланс элементов минерального питания полбы сорта Псковитянка для получения высоких и устойчивых урожаев зерна качественного состава и введения культуры в производство.

**Материал и методы.** Все основополагающие аспекты агротехнологии возделывания нового сорта Псковитянка разработаны в результате научных исследований ОП Псковского НИИСХ ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» в 2019–2023 гг. в соответствии с «Методикой полевого опыта»<sup>3</sup>.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая легкосуглинистая среднеоккультуренная со следующими агрохимическими показателями:  $pH_{KCl}$  – 5,8; содержание гумуса (по методу Тюрина) – 2,1 %; подвижного фосфора (по методу Кирсанова) – 397 мг/кг почвы; обменного калия (по методу Кирсанова) – 194 мг/кг почвы. Глубина пахотного слоя – 22 см. Предшественник – тимофеевка луговая.

Схема полевого многофакторного опыта изначально включала изучение следующих вариантов:

- уровень минерального питания:  
1) без удобрений (контроль); 2)  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ;  
3)  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ; 4)  $N_{120}P_{120}K_{120}$ ;
- норма высева: 1) 5 млн всхож. семян/га;  
2) 6 млн всхож. семян /га;
- срок посева при каждом уровне питания и норме высева: 1) I декада мая; 2) II декада мая.

Первый срок посева пшеницы полбы определялся при наступлении физической спелости почвы.

В последующем, после двух лет испытаний, схема опыта была сокращена до двухфакторного опыта:

Фактор А – уровень минерального питания:  
1) без удобрений (контроль), 2)  $N_{60}P_{60}K_{60}$ ,  
3)  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ;

Фактор В – норма высева: 1) 5 млн всхож. семян/га, 2) 6 млн всхож. семян/га.

Применяли общепринятые для региона агротехнические мероприятия<sup>4</sup>. Минеральные удобрения вносили до посева под предпосевную культивацию в виде азофоски. Площадь опытной делянки – 25 м<sup>2</sup>. Опыт заложен в 4-кратной повторности.

В исследовании проводили фенологические наблюдения, учет урожая зерна и побочной продукции, морфологический анализ растений<sup>5</sup>, химический анализ почвенных и растительных образцов. В растворе золы растений определяли общий азот с реактивом Несслера, фосфор – колориметрически с молибденово-кислым аммонием, калий – прямым определением на пламенном фотометре. Баланс элементов питания определяли в соответствии с методикой расчета<sup>6</sup>. Статистическую обработку данных проводили методом двухфакторного дисперсионного анализа<sup>7</sup>.

Важным моментом в формировании высокой продуктивности культуры являются погодные условия после посева в период начального роста растений. Самым теплым сложился май 2019 г., прохладная погода этого месяца отмечена в 2020 и 2022 гг. Средняя температура мая в 2021 и 2023 гг. была на уровне средней многолетней величины – 11,6 и 11,8 °С соответственно (рис.).

В среднем за 5 лет проведения исследований самыми неблагоприятными условиями для прорастания семян полбы характеризовался май 2021 г. – за месяц выпало 244,9 % осадков от климатической нормы. Ливневые дожди шли почти равномерно на протяжении всего месяца, при этом среднемесячная температура мая была на 0,4 °С ниже средних многолетних значений.

<sup>3</sup>Доспехов Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Колос, 1985. 416 с.

<sup>4</sup>Методические рекомендации по интенсивной технологии возделывания зерновых культур на Северо-Западе РСФСР. ВАСХНИЛ, Отделение по Нечернозем. зоне РСФСР, Северо-Западное науч. произв. об-е по селекции и растениеводству «Белогорка». Сост. Г. В. Семенов и др. Л., 1985. 39 с.

<sup>5</sup>Ещенко В. Е., Трифонова М. Ф., Копытко П. Г., Соловьев А. М., Фирсов И. П., Шевченко В. А. Основы опытного дела в растениеводстве: учебное пособие для студ. ВУЗов, обучающихся по направлению подготовки «Агрономия». М.: КолосС, 2013. 268 с.

<sup>6</sup>Лапа В. В., Ивахненко Н. Н., Босак В. Н., Черныш А. В., Пироговская Г. В., Михайловская Н. А. и др. Методика расчета баланса элементов питания в земледелии Республики Беларусь. Республиканское научное дочернее унитарное предприятие «Институт почвоведения и агрохимии». Минск: РУП БНИВНФХ в АПК, 2007. 18 с.

<sup>7</sup>Доспехов Б. А. Указ. соч.

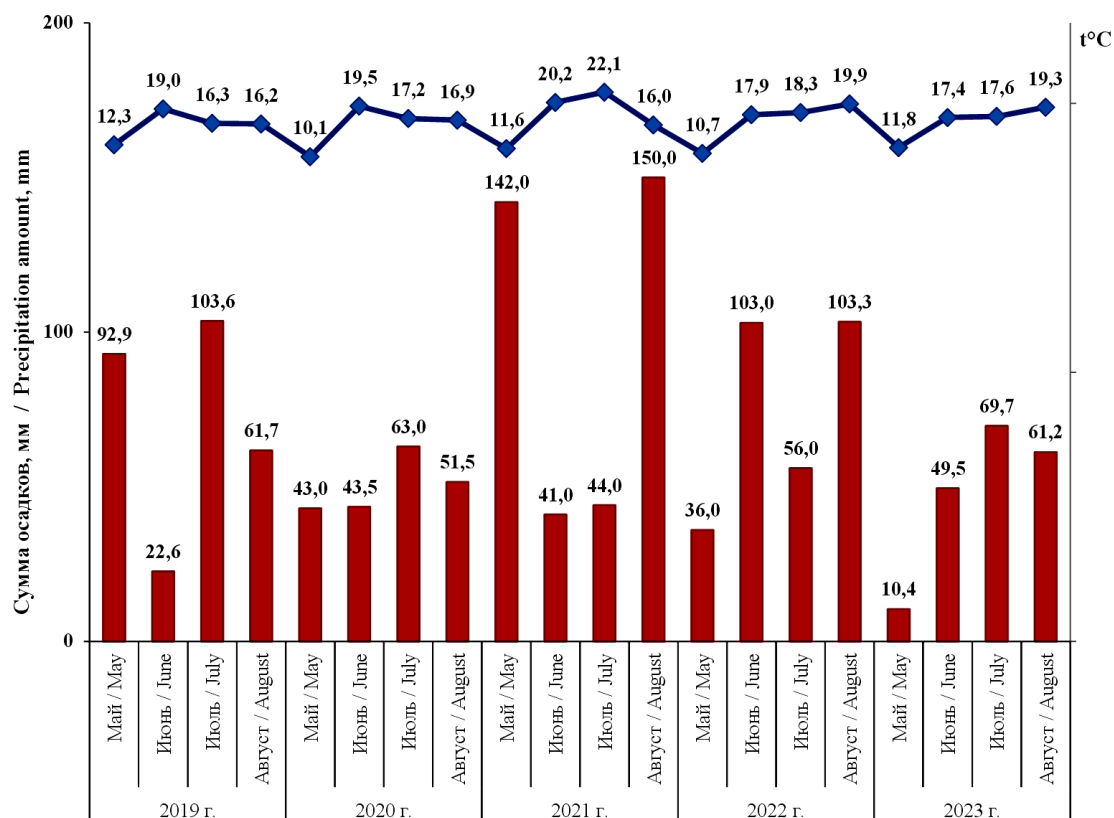


Рис. Метеоусловия вегетационных периодов за 2019–2023 гг. /

Fig. Meteorological conditions of the growing seasons for 2019–2023

Высокая влажность почвы и понижение температуры в период появления всходов до 8...10 °C оказали отрицательное воздействие на энергию прорастания семян и их всхожесть. Средняя температура воздуха в июне отмечена на 4,0 °C выше среднееголетних показателей, но острый дефицит влаги (лишь 50 % от нормы) негативно сказался на росте и развитии растений полбы. Сумма осадков за месяц составила 41 мм, а особенно засушливыми сложились II и III декады июня – 23 июня и 13 июля зафиксированы рекордно высокие температуры воздуха 35,3 и 35,7 °C. Гидротермический коэффициент (ГТК)<sup>8</sup> в июне составил 0,67, июле – 0,66, что характеризует данный вегетационный период как засушливый. Сложившиеся метеоусловия этого года оказали отрицательное влияние на продуктивность полбы. В остальные годы исследований перепады температурного режима и наличие влаги в период вегетации не столь критично сказывались на росте и развитии растений полбы.

**Результаты и их обсуждение.** Фенологические наблюдения показали, что длительность фаз развития растений полбы определялась складывающимися в период вегетации

метеоусловиями. В 2019 г. во всех вариантах опыта при стабильном температурном режиме всходы полбы появились через 6 дней, в 2020г. – 7, 2021 – 10, 2022 и 2023 гг. – через 8 дней. Продолжительность фазы «всходы – колошение» в среднем за годы исследований при первом сроке сева полбы составила 45 дней, при втором сроке сева – 42 дня. Период вегетации культуры на всех фонах питания при первом сроке сева составил 102 дня, при втором – 100 дней. Основываясь на незначительных различиях в длительности вегетационных периодов между первым и вторым сроками сева полбы (по данным фенологических наблюдений), несущественных прибавках урожая зерна (прибавка зерна полбы при первом и втором сроках составила 1,6–1,9 ц/га при НСР<sub>05</sub> = 2,0 ц/га), был определен оптимальный срок сева в дальнейших исследованиях (начиная с 2021 года) – это период с 1 по 15 мая (в зависимости от погодных условий весны).

В ходе проведения исследований было отмечено, что изучаемые факторы – норма высева, фон минерального питания – не имели существенного влияния на сроки появления всходов.

<sup>8</sup>Селянинов Г. Т. О сельскохозяйственной оценке климата. Труды по сельскохозяйственной метеорологии. 1928;20:165–177.

Самые высокие показатели средней урожайности зерна полбы получены при посеве культуры с нормами высева 5 и 6 млн семян

на гектар с уровнями минерального питания  $N_{90}P_{90}K_{90}$  (2019–2023 гг.) и  $N_{120}P_{120}K_{120}$  (2019–2020 гг.) (табл. 1).

*Таблица 1 – Влияние нормы высева и уровней минерального питания на урожайность зерна полбы сорта Псковитянка /*

*Table 1 – The influence of seeding rate and mineral nutrition levels on grain yield of emmer wheat of the Pskovityanka cultivar*

Доза удобрений (А) / Fertilizer dose (A)	Норма высева (В), млн семян/га / Seeding rate (B), million seeds/ha	Урожайность, ц/га / Yield, c/ha					Среднее, ц/га / Average, c/ha		
		2019 г. *	2020 г. *	2021 г.	2022 г.	2023 г.	урожайность / yield	от NPK / from the NPK	от нормы высева / from the seeding rate
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	5	17,8	19,8	17,2	20,9	20,1	19,2	-	-
	6	19,4	20,0	17,5	19,6	16,7	18,6	-	-0,6
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5	19,2	21,2	18,2	22,3	22,4	20,7	1,5	-
	6	21,7	22,4	18,1	22,0	23,9	21,6	3,0	0,9
$N_{90}P_{90}K_{90}$	5	23,8	22,6	18,1	24,2	24,4	22,6	3,4	-
	6	24,8	22,8	18,7	22,4	20,9	21,9	3,3	-0,7
$N_{120}P_{120}K_{120}$	5	24,3	22,8	-	-	-	23,5	-	-
	6	23,8	23,6	-	-	-	23,7	-	-
HCP <sub>05</sub> (A), ц/га / LSD <sub>05</sub> (A), c/ha		2,2	1,9	1,1	2,1	2,2	-	-	-
HCP <sub>05</sub> (B), ц/га / LSD <sub>05</sub> (B), c/ha		1,3	0,7	0,7	1,8	1,7	-	-	-
HCP(AB), ц/га / LSD <sub>05</sub> (AB), c/ha		2,0	1,5	1,6	2,4	1,6	-	-	-
HCP част. разл., ц/га / LSD <sub>05</sub> part. diff, c/ha		2,5	2,5	1,8	3,0	3,8	-	-	-

\* Усредненные данные по двум срокам посева / \* Average data for two sowing dates

Однако следует отметить, что повышение дозы минеральных удобрений до  $N_{120}P_{120}K_{120}$  значительного роста урожая зерна полбы в сравнении с дозой  $N_{90}P_{90}K_{90}$  не обеспечило. С 2021 г. схема опыта была изменена из-за нецелесообразности внесения высоких доз под полбу на уровне  $N_{120}P_{120}K_{120}$ .

Установлено, что наиболее благоприятные условия для возделывания полбы сложились в 2020, 2022 и 2023 гг. В контрольных вариантах в среднем за пять лет урожайность полбы была на уровне 18,6–19,2 ц/га. Применение минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$  обеспечило рост урожайности полбы как при норме высева 5, так и 6 млн семян/га. На этом фоне NPK при норме 6 млн семян прибавка составила 0,9 ц/га зерна в сравнении с более низкой нормой высева. На высоком агрофоне с увеличением доз внесения до уровня  $N_{90}P_{90}K_{90}$  получены максимальные показатели урожая зерна полбы сорта Псковитянка – 21,9–22,6 ц/га,

прибавки урожая к контрольному варианту составили 3,3–3,4 ц/га. В вариантах опыта с нормой высева 6 млн семян/га отмечено снижение урожайности культуры за счет образования меньшего количества продуктивных стеблей.

Анализ урожайности зерна полбы в разрезе пяти лет показал, что в годы исследований в вариантах опыта с минеральным питанием  $N_{60}P_{60}K_{60}$  прибавки зерна в сравнении с контролем были в среднем недостоверными, т. е. в пределах ошибки опыта. Значения зерновой продуктивности полбы достоверно выше контрольного варианта за все годы исследований с нормой высева 5 млн семян/га на минеральном фоне  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , за исключением 2021 года (самая низкая урожайность зерна из-за неблагоприятных погодных условий).

За годы исследований урожайность побочной продукции полбы в контроле составила 28,8–30,0 ц/га. Внесение минеральных удобрений увеличивало выход полбяной соломы,

который составил по вариантам от 32,2 до 34,7 ц/га (табл. 2). Внесение минеральных удобрений в более высокой дозе  $N_{120}P_{120}K_{120}$  не привело к увеличению побочной продук-

ции в виде соломы. Значимые данные выхода полбяной соломы получены в вариантах с нормой высева 5 млн всхожих семян/га на фоне  $N_{90}P_{90}K_{90}$  и  $N_{60}P_{60}K_{60}$ .

Таблица 2 – Урожайность соломы полбы сорта Псковитянка в зависимости от нормы высева и фона минерального питания, ц/га (в среднем за 2019–2023 гг.) /

Table 2 – Emmer wheat straw yield of the Pskovityanka cultivar depending on seeding rates and mineral nutrition background, c/ha (on average for 2019–2023)

Доза удобрений / Fertilizer dose	Норма высева, млн семян/га / Seeding rate, million seeds/ha	Урожайность / Yield	Прибавка / Growth	
			к контролю / to control	от нормы высева / from the seeding rate
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	5	28,8	-	-
	6	30,0	-	+1,2
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5	33,3	+4,5	-
	6	34,7	+4,7	+1,4
$N_{90}P_{90}K_{90}$	5	33,2	+4,4	-
	6	32,2	+2,2	-1,0
НСР <sub>05</sub> част. разл., ц/га / LSD <sub>05</sub> , part.diff., c/ha		4,2	-	-
$N_{120}P_{120}K_{120}$ *	5	32,2	+3,4	-
	6	33,2	+3,2	+1,0
НСР <sub>05</sub> част. разл., ц/га / LSD <sub>05</sub> , part.diff., c/ha		3,5		

\* Среднее за 2019–2020 гг. / \* On average for 2019–2020

Морфологический анализ пробного снопа полбы показал, что применение минеральных удобрений в сравнении с контрольными вариантами способствовало формированию в период вегетации более высоких растений и дополнительных продуктивных стеблей на растении. При этом закладывается и формируется большее число зерен в колосе с увеличением их полно-

весности. В контроле среднее количество зерен в колосе составило 26 штук, при дозе минеральных удобрений  $N_{60}P_{60}K_{60}$  – 27–28 штук, при  $N_{90}P_{90}K_{90}$  сформировалось в среднем 33 зерна массой 1,1 г (табл. 3). Дальнейшее увеличение дозы до уровня  $N_{120}P_{120}K_{120}$  не оказало существенного влияния на закладку зерен в колосе, однако отмечена при уборке их шуплость и легковесность.

Таблица 3 – Элементы структуры урожая пшеницы полбы сорта Псковитянка (в среднем за 2019–2023 гг.) /  
Table 3 – Elements of emmer wheat yield structure of Pskovityanka cultivar (on average for 2019–2023)

Доза удобрений / Fertilizer dose	Норма высева, млн семян/га / Seeding rate, million seeds/ha	Высота растений, см / Height of plants, cm	Количество стеблей, шт/м <sup>2</sup> / Number of stems, pcs/m <sup>2</sup>		Кустистость / Bushiness		Число зерен в колосе, шт / Number of grains per ear, pcs.	Масса зерна в колосе, г / Weight of grain in an ear, g
			всего / total	с колосом / with an ear of corn	общая / general	продуктивная / productive		
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	5	78	551	428	1,8	1,6	26	0,8
	6	77	596	427	1,9	1,7	26	0,8
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5	81	636	468	1,8	1,6	27	0,9
	6	79	614	491	2,0	1,7	28	1,0
$N_{90}P_{90}K_{90}$	5	80	606	452	1,9	1,8	33	1,1
	6	82	634	429	2,1	1,8	33	1,1
$N_{120}P_{120}K_{120}$ *	5	82	627	437	1,8	1,7	34	1,0
	6	82	654	423	2,1	1,6	33	0,9

\* Среднее за 2019–2020 гг. / \* Average for 2019–2020

Расчетные данные биологической урожайности полбы в среднем за 5 лет составили от 34,2 ц/га в контроле до 50,0 ц/га на фоне минеральных удобрений  $N_{90}P_{90}K_{90}$  с нормой высева 5 млн всхожих семян/га.

Особенные свойства полбы определяются ее химическим составом. Это единственная генетически неизменённая с древних времён культура, сохранившая целебные свойства, накопленные тысячелетиями. Отмечают, что радиоактивное излучение от Чернобыльской катастрофы не отразилось на посевах полбы [11]. Полба содержит практически все питательные вещества, необходимые человеческому организму. Продукты на основе полбы можно рекомендовать для диетического питания людей с заболеванием целиакией, а также для диабетического и детского [12, 13].

Анализ растительных образцов полбы сорта Псковитянка на содержание основных элементов минерального питания в годы исследований показывает, что в зерне в большей мере накапливаются азот и калий, в меньшей степени фосфор. Нормы высева и сроки посева не оказы-

вали существенного влияния на содержание основных элементов минерального питания в разрезе определенной дозы удобрений, а минеральные удобрения в различной степени воздействовали на процессы питания культуры.

В таблице 4 приведены усредненные данные химического анализа содержания элементов минерального питания от доз вносимых удобрений по двум нормам высева. В зерне полбы содержание азота в абсолютно сухом веществе находилось в пределах от 2,66 до 3,50 %. Максимальное содержание азота в зерне отмечено при внесении дозы  $N_{120}P_{120}K_{120}$ . Каждое последующее повышение дозы внесения азотсодержащих удобрений ведет к накоплению элемента азота в зерне полбы. В полбяной соломе содержание азота составило от 0,55 % в контроле до 0,63–0,66 % при внесении высоких доз удобрений, что указывает на незначительное повышение концентрации азота от вносимых удобрений. Такая же особенность в питательном режиме культуры отмечается и в отношении фосфора как в зерне – 0,43–0,51 %, так и соломе – 0,21–0,25 %.

**Таблица 4 – Влияние минерального питания на химический состав растительных образцов полбы сорта Псковитянка, % ACB /**

**Table 4 – Effect of mineral nutrition on the chemical composition of plant samples spelt of the Pskovityanka variety, % absolute elydry substance**

Доза удобрений / Fertilizer dose	Содержание элементов / Contents of elements					
	N		P		K	
	зерно / grain	солома / straw	зерно / grain	солома / straw	зерно / grain	солома / straw
Контроль (без удобрений)* / Control (without fertilizers)	2,66	0,55	0,43	0,21	1,59	2,05
$N_{60}P_{60}K_{60}$ *	2,88	0,60	0,46	0,23	1,62	2,30
$N_{90}P_{90}K_{90}$ *	3,14	0,63	0,49	0,24	1,64	2,46
$N_{120}P_{120}K_{120}$ **	3,50	0,66	0,51	0,25	1,68	2,99
HCP <sub>05</sub> /LSD <sub>05</sub>	0,19	0,07	0,02	0,02	0,03	0,24

\* Среднее за 2019–2023 гг., \*\* среднее за 2019–2020 гг. / \*Average for 2019–2023, \*\* average for 2019–2020.

Растения полбы сорта Псковитянка в процессе вегетации накапливают большое количество калия. К уборке в зерне полбы концентрация калия составила от 1,59 до 1,68 %, накопление калия от повышенных доз минеральных удобрений было несущественным, а в полбяной соломе отмечается активное его накопление с увеличением вносимой дозы калия. Каждое последующее увеличение дозы калийсодержащего удобрения вело к повышению его содержания в соломе.

Процессы накопления элементов минерального питания в растительных образцах полбы дают возможность рассчитать их вынос с урожаем полученной продукции (табл. 5).

Значение выноса элементов питания необходимо для изучения баланса потребления растениями в период вегетации из вносимого уровня доз минерального питания, расчета дозы удобрений на планируемый урожай как отдельных культур, так и при разработке системы применения удобрений в севооборотах.



Таблица 5 – Вынос основных питательных веществ урожаем полбы сорта Псковитянка и баланс их использования из вносимых минеральных удобрений (в среднем за 2019–2023 гг.) /

Table 5 – Removal of the main nutrients by the yield of emmer wheat of the Pskovityanka cultivar and the balance of their use from applied mineral fertilizers (on average 2019-2023)

Доза удобрений / Fertilizer dose	Норма высева, млн семян/га / Seeding rate, million seeds/ha	Вынос, кг/га / Removal, kg/ha			Баланс, кг/га / Balance, kg/ha		
		N	P	K	N	P	K
Контроль (без удобрений) / Control (without fertilizers)	5	71,5	28,2	82,5	-71,5	-28,2	-82,5
	6	64,6	27,0	84,8	-64,6	-27,0	-84,8
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	5	83,8	32,1	96,3	-23,8	+27,9	-36,3
	6	83,6	31,3	98,3	-23,6	+28,7	-38,3
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	5	92,8	35,2	97,7	-2,8	+54,8	-7,7
	6	88,1	33,5	95,7	+1,9	+56,5	-5,7
N <sub>120</sub> P <sub>120</sub> K <sub>120</sub> *	5	103,4	35,4	135,8	+16,6	+84,6	-15,8
	6	104,9	34,4	139,1	+15,1	+85,6	-19,1

\*Среднее за 2019-2020 гг. / \* Average for 2019-2020

В среднем за годы исследований установлено, что при возделывании полбы с урожаем в контрольных вариантах выносятся с 1 га – 65–72 кг азота, 27–28 кг фосфора, 82–85 кг калия.

Данные выноса элементов минерального питания в среднем за 2019–2023 гг. показывают, что с основным и побочным урожаем полбы больше всего выносятся калия, промежуточное положение в выносе занимает азот и меньше всего растения полбы накапливают фосфора. Внесение перед посевом повышенных доз минеральных удобрений ведет к более высоким показателям урожайности и накопления элементов минерального питания в растительной продукции, следовательно, и к их выносу. Показатели выноса по фактору «норма высева», в пределах изучаемых доз, имеют приблизительно одинаковые значения. Максимальные величины выноса азота и калия растениями полбы отмечены в вариантах с внесением минеральных удобрений в дозе N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub>.

В результате исследований установлено, что в диапазоне применения доз минеральных удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>...N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> вынос основных элементов питания с урожаем за годы исследований был практически равнозначным, а с увеличением дозы до N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> резко усиливается вынос азота и калия до показателей по азоту 103–105 кг/га, калию – до 136–139 кг/га. Величина выноса фосфора была на таком же уровне, что и при дозе P<sub>90</sub>.

Отрицательный баланс элементов в питании растений ведет к снижению урожайности из-за недостаточности их поступления, что приводит к недобору урожая данной зерновой культуры и обеднению почвенного плодородия,

так как недостающее количество питательного элемента растения вынуждены потреблять из почвы. В контрольных вариантах опыта по всем элементам получен отрицательный баланс. Внесение минеральных удобрений в целом обеспечило получение положительного баланса только в отношении фосфора. Отмечено, что даже внесение фосфора в составе азофоски N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> превышает хозяйственный вынос этого элемента на 28 кг/га. С увеличением доз внесения сложных удобрений, в состав которых входит фосфор в дозе P<sub>120</sub>, поступление данного элемента превышает вынос на 85 кг/га. Учитывая такие особенности культуры, считаем наиболее целесообразным применять фосфорные удобрения в меньшей дозе, принимая во внимание при этом и уровень обеспеченности почвы подвижными фосфатами. Только при внесении удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub> величина выноса по азоту и калию соразмерна с поступлением этих элементов с удобрениями. Последующее увеличение дозы азофоски до N<sub>120</sub>P<sub>120</sub>K<sub>120</sub> обеспечивает положительный баланс по азоту, фосфору, но не по калию из-за высоких показателей выноса калия с урожаем побочной продукции.

**Заключение.** На основании изложенного следует, что в условиях Северо-Западного региона яровая пшеница – полба сорта Псковитянка формирует свою продуктивность на уровне 22 ц/га, в определенные годы до 25 ц/га. Оптимальным сроком посева культуры в регионе является первая половина мая, норма высева – 5 млн всхожих зерен/га, предпосевное внесение минеральных удобрений в дозе N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, с возможным снижением дозы фосфорных

удобрений при высокой фосфатной обеспеченности почв. Данные дозы в период вегетации покрывают потребность растений в питательных элементах, не оказывая негативного влияния на плодородие почвы. Применение более высокой дозы минеральных удобрений  $N_{120}P_{120}K_{120}$  не оправдано – статистически значимых прибавок урожайности зерна в сравнении с вариантом

$N_{90}P_{90}K_{90}$  не получено. Только при внесении удобрений в дозе  $N_{90}P_{90}K_{90}$  величина выноса по азоту и калию соразмерна с поступлением этих элементов с удобрениями. Последующее увеличение дозы до  $N_{120}P_{120}K_{120}$  обеспечивает положительный баланс по азоту, фосфору, но не по калию, из-за высоких показателей выноса калия с урожаем побочной продукции.

#### Список литературы

1. Смекалова Т. Н., Кобылянский В. Д. Некоторые аспекты систематики голозерной полбы (*Triticum dicoccum* (Schr.) Schuebl). Хлеба будущего: геномика, генетика, селекция: сб. тез. Междунар. конф. ФИЦ Всероссийский институт генетических ресурсов растений им. Н. И. Вавилова. СПб: ВИР, 2019. С. 125. DOI: <https://doi.org/10.30901/978-5-905954-99-3> EDN: KRPEGH
2. Тарасова Л. В., Рендов Н. А., Фризен Ю. В., Мозылева С. И. Продуктивность полбы в условиях южной лесостепи Западной Сибири. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2019;(4(36)):75–81. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41801669> EDN: HMLZVV
3. Бец Ю. А., Панкрашкина И. В. Качество и пищевая ценность композитных смесей с включением полбы. Ползуновский вестник. 2021;(3):155–162. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46689784> EDN: BQIEJD
4. Зверев С. В., Политуха О. В., Стариченков А. А., Абрамов П. С. Полба и Спельта – возвращение к истокам. Хранение и переработка зерна. 2015;(6-7(194)):48–50.
5. Осокина Н. М., Любич В. В., Новіков В. В., Лещенко І. А. Біохімічний склад зерна пшениці полби (*Triticum dicoccum* (Schr.) Schuebl) залежності від генотипу. Агробіологія. 2020;(1(157)):111–119. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43808199> EDN: JUGJXW
6. Хмелева Е. В. Использование зерна полбы в технологии зернового хлеба повышенной пищевой ценности. Индустрия питания. 2023;8(1):64–73. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50400182> EDN: KCGGFV
7. Хмелева Е. В., Королев Д. Н., Пенькова Ю. В., Хмелев А. С. Химический состав и хлебопекарные свойства муки из зерна полбы (*Triticum dicoccum*). Роль молодых ученых в инновационном развитии сельского хозяйства: сб. мат-лов Междунар. научн.-практ. конф. Орел: изд-во ГНУ ВНИИ зернобобовых и крупяных культур РАСХН, 2019. С. 162–166. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41522837> EDN: GTESRU
8. Haliniarz M., Gawęda D., Chojnacka S., Łukasz J., Nowakowicz-Dębek B., Wlazło Ł., Najda A., Różańska-Boczula M. Evaluation of the weed infestation, grain health, and productivity parameters of two spelt wheat cultivars depending on crop protection intensification and seeding densities. Agriculture. 2020;10(6):229. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060229>
9. Энговатова И. В., Шестакова Е. О., Сторчак И. Г., Ерошенко Ф. В. Влияние элементов агротехнологии на азотное питание озимой пшеницы. Аграрный научный журнал. 2020;(12):55–58. DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp55-58> EDN: RNYIFT
10. Погодина А. В., Габбасов И. И., Сафиоллин Ф. Н., Лукманов А. А., Миннуллин Г. С. Сравнительная оценка реакции различных сортов полбы на внесение расчётных норм минеральных удобрений в лесостепной зоне Среднего Поволжья. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023;18(2(70)):31–36. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-31-36> EDN: NVBGID
11. Зверев С. В., Панкратьева И. А., Политуха О. В., Чиркова Л. В., Витол И. С., Стариченков А. А. Исследование свойств полбы. Хлебопродукты. 2016;(1):66–67. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25099412> EDN: VDGNBZ
12. Темирбекова С. К., Бегеулов М. Ш., Афанасьева Ю. В., Куликов И. М., Ионова Н. Э. Адаптивный потенциал полбы голозерной в условиях второго, третьего и седьмого регионов Российской Федерации. Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020;(1):34–38. DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/1/34-38> EDN: KEYBOI
13. Агапкин А. М. Особенности пищевой ценности, ассортимент и нормирование качества пшеничных круп (кус-кус, полба, булгур, фрике). Инновационная наука. 2021;(3):48–51. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44803309> EDN: AKRHKT

#### References

1. Smekalova T. N., Kobylyanskiy V. D. Some aspects of the taxonomy of naked emmer wheat (*Triticum dicoccum* (Schr.) Schuebl). Bread of the future: genomics, genetics, breeding: collection of articles. International Conference FITZ All-Russian Institute of Plant Genetic Resources named after N. I. Vavilov. Saint-Petersburg: VIR, 2019. p. 125. DOI: <https://doi.org/10.30901/978-5-905954-99-3>

2. Tarasova L. V., Rendov N. A., Frizen Yu. V., Mozyleva S. I. Production efficiency of farro under the conditions of the southern forest-steppe of Western Siberia. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2019;(4(36)):75–81. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41801669>
3. Bets Yu. A., Pankrashkina I. V. Quality and nutritional value of composite mixtures including spelt wheat. *Polzunovskiy vestnik*. 2021;(3):155–162. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46689784>
4. Zverev S. V., Politukha O. V., Starichenkov A. A., Abramov P. S. Emmer wheat and spelt – back to basics. *Khranenie i pererabotka zerna*. 2015;(6-7(194)):48–50. (In Russ.).
5. Osokina N. M., Lyubich V. V., Novikov V. V., Leshchenko I. A. Biochemical composition of emmer wheat (*Triticum dicoccum* (Schrank) Schuebl) grain depending on the variety. *Agrobiologiya*. 2020;(1(157)):111–119. (In Ukraine). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43808199>
6. Khmeleva E. V. Spelt grain use in the technology of grain bread of increased nutritional value. *Industriya pitaniya* = Food Industry. 2023;8(1):64–73. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50400182>
7. Khmeleva E. V., Korolev D. N., Penkova Yu. V., Khmelev A. S. Chemical composition and baking properties of emmer wheat grain flour (*Triticum dicoccum*). The role of young scientists in the innovative development of agriculture: Proceedings of the International Scientific-practical conf. Orel: izd-vo GNU VNII zernobobovykh i krupyanykh kul'tur RASKhN, 2019. pp. 162–166. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=41522837>
8. Haliniarz M., Gawęda D., Chojnacka S., Łukasz J., Nowakowicz-Dębek B., Wlazło Ł., Najda A., Różańska-Boczula M. Evaluation of the weed infestation, grain health, and productivity parameters of two spelt wheat cultivars depending on crop protection intensification and seeding densities. *Agriculture*. 2020;10(6):229. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture10060229>
9. Engovatova I. V., Shestakova E. O., Storchak I. G., Eroshenko F. V. Influence of agricultural technology elements on nitrogen nutrition of winter wheat. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal* = The Agrarian Scientific Journal. 2020;(12):55–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.28983/asj.y2020i12pp55-58>
10. Pogodina A. V., Gabbasov I. I., Safiollin F. N., Lukmanov A. A., Minnullin G. S. Comparative evaluation of the reaction of different varieties of spelt to the introduction of designed norms of mineral fertilizers in the forest-steppe zone of the Middle Volga region. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of the Kazan State Agrarian University. 2023;18(2(70)):31–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2023-31-36>
11. Zverev S. V., Pankrat'eva I. A., Politukha O. V., Chirkova L. V., Vitol I. S., Starichenkov A. A. Investigation of the properties of emmer wheat. *Khlebobrodukty*. 2016;(1):66–67. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=25099412>
12. Temirbekova S. K., Begeulov M. Sh., Afanaseva Yu. V., Kulikov I. M., Ionova N. E. Adaptive capacity of einkorn huskless in the second, third and seventh Russian Federation regions. *Vestnik rossiyskoy sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Vestnik of the Russian agricultural science. 2020;(1):34–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30850/vrsn/2020/1/34-38>
13. Agapkin A. M. Features of nutritional value, assortment and rationing of the quality of wheat cereals (couscous, emmer wheat, bulgur, frike). *Innovatsionnaya nauka*. 2021;(3):48–51. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44803309>

#### **Сведения об авторах**

**Шайкова Татьяна Васильевна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник, заведующая лабораторией агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, Тверь, 170041, Российская Федерация, e-mail: [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7309-5328>

✉ **Дятлова Марина Владимировна**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агротехнологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, Тверь, 170041, Российская Федерация, e-mail: [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4651-1263>, e-mail: [m.dyatlova.psk@fncl.ru](mailto:m.dyatlova.psk@fncl.ru)

**Кузьмин Андрей Андреевич**, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», Комсомольский пр-т, д. 17/56, Тверь, 170041, Российская Федерация, e-mail: [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6675-3537>

#### **Information about the authors**

**Tatiana V. Shaykova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolskiy Prospekt, Tver, 170041, Russian Federation, e-mail: [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-7309-5328>

✉ **Marina V. Dyatlova**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Laboratory of Agricultural Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolskiy Prospekt, Tver, 170041, Russian Federation, e-mail: [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4651-1263>, e-mail: [m.dyatlova.psk@fncl.ru](mailto:m.dyatlova.psk@fncl.ru)

**Andrey A. Kuzmin**, senior researcher, the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolskiy Prospekt, Tver, 170041, Russian Federation, e-mail: [info@fncl.ru](mailto:info@fncl.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6675-3537>

✉ – Для контактов / Corresponding author

## Результаты изучения коллекционных сортов и новых селекционных номеров картофеля по хозяйственно полезным признакам

© 2024. И. В. Лыскова✉, П. В. Пермяков, Е. И. Кратюк  
ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока  
имени Н. В. Рудницкого» г. Киров, Российская Федерация

В статье представлены результаты изучения коллекционных сортов и новых селекционных номеров картофеля за 2020–2023 гг. в агроэкологических условиях Кировской области по основным хозяйственно ценным признакам. В качестве стандартов использовали раннеспелый сорт Удача (ВНИИ картофельного хозяйства), среднеранний сорт Невский (Северо-Западный НИИСХ), среднеспелый сорт Чайка (ФАНЦ Северо-Востока). В группе раннеспелых сортов наиболее стабильный показатель продуктивности имел сорт Утенок (Россия) (коэффициент вариации (CV) составил 32 %), в засушливых условиях 2022 г. сорт превысил стандарт на 35 % (297 г/куст); из иностранных сортов выделен ‘Dundrum’ (Великобритания) со средней продуктивностью 462±132 г/куст (CV = 29 %). В группе среднеранних сортов по продуктивности и стабильности показателя выделены Сказка (Россия) – 423±120 г/куст (CV = 28 %), Лилея (Беларусь) – 463±149 г/куст (CV = 32 %). В группе среднеспелых высокую продуктивность сформировали нематодоустойчивый сорт ‘Sanetta’ (Германия) – 467±260 г/куст (CV = 56 %) и сорт ‘Valkora’ (Болгария) – 523±220 г/куст (CV = 42 %). В результате селекционной работы выделены по продуктивности наиболее перспективные селекционные номера: 69-21 – 702 г/куст, 283-21 – 685 г/куст, с ранним накоплением урожая – селекционные номера 69-21, 285-21, 184-21 с продуктивностью 490, 390 и 350 г/куст соответственно, по товарному качеству клубней – 69-21 с крупными, выравненными клубнями розового цвета, 19-21 с клубнями фиолетового цвета. В питомнике предварительного испытания по результатам оценки в 2023 г. выделены: по продуктивности 195-21 и 234-21; по скороспелости 3-21, 199-21, 234-21; по устойчивости к парше обыкновенной 202-21, 208-21, 199-21.

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

**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., Пермяков П. В., Кратюк Е. И. Результаты изучения коллекционных сортов и новых селекционных номеров картофеля по хозяйственно полезным признакам. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1019–1027. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1019-1027>

Поступила: 05.07.2024

Принята к публикации: 29.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## The results of study of collection cultivars and potato new breeding numbers according to agronomic traits

© 2024. Irina V. Lyskova✉, Pavel V. Permyakov, Elena I. Kratyuk  
Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky,  
Kirov, Russian Federation

The article presents the results of study of collection cultivars and new breeding numbers of potato for 2020–2023 in the agroecological conditions of the Kirov region according to the main agronomic traits. The early-ripening cultivar ‘Udacha’ (All-Russia Research Institute of Potato Farming), the mid-early cultivar ‘Nevsky’ (North-Western Research Institute of Agriculture), and the mid-ripening cultivar ‘Chaika’ (FANC North-East) were used as standards. In the group of early ripening cultivars, the ‘Utenok’ (Russia) had the most stable productivity indicator (CV = 32 %), in dry conditions of 2022 the cultivar exceeded the standard by 35 % (297 g/bush); among the foreign cultivars, the cultivar ‘Dundrum’ (Great Britain) with an average productivity of 462±132 g/bush was selected (CV = 29 %). In the group of mid-early cultivars, in terms of productivity and stability of the indicator, the following cultivars were distinguished: ‘Skazka’ (Russia) – 423±120 g/bush (CV = 28 %), ‘Lileya’ (Belarus) – 463±149 g/bush (CV = 32 %). In the group of mid-season cultivars, high productivity (467±260 g/bush (CV = 56 %)) was formed by the nematode-resistant ‘Sanetta’ (Germany) and the cultivar ‘Valkora’ (Bulgaria) – 523±220 g/bush (CV = 42 %). As a result of breeding work, the most promising selection numbers according to the productivity were identified: 69-21 – 702 g/bush, 283-21 – 685 g/bush; with early accumulation of yield – selection numbers 69-21, 285-21, 184-21 with productivity of 490, 390 and 350 g/bush, respectively. Based on the commercial quality of the tubers, the following were selected: 69-21 with large, even pink tubers, 19-21 with purple tubers. In the nursery of the preliminary test, based on the results of the assessment in 2023 the following were distinguished: by productivity 195-21 and 234-21; by early maturity 3-21, 199-21, 234-21; by resistance to common scab 202-21, 208-21, 199-21.

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



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

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

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

**For citations:** Lyskova I. V., Permyakov P. V., Kratyuk E. I. The results of study of collection cultivars and potato new breeding numbers according to agronomic traits. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1019–1027. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1019-1027>

Received: 05.07.2024

Accepted for publication: 29.11.2024

Published online: 25.12.2024

Селекционная работа по картофелю на Фалёнской селекционной станции – филиале Федерального аграрного научного центра Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого традиционно была направлена на создание сортов картофеля столового типа. За почти вековую историю были созданы такие известные сорта картофеля, как Северная Роза (авторы А. М. Жилина, К. Ш. Малявский, Б. В. Попов), Фалёнский (К. Ш. Малявский), Новинка, Вятка, Роза, (К. С. Андрианова), Шурминский 2 (К. С. Андрианова, Е. Г. Климакова, Н. П. Складорова)<sup>1</sup>. В Государственный реестр селекционных достижений, допущенных к использованию на 2024 г.<sup>2</sup>, внесены сорта Алиса, Виза, Чайка, Огниво, Глория, Голубка, Вираз (З. Ф. Сергеева и Н. Ф. Синцова), которые рекомендованы для возделывания в Волго-Вятском, Северо-Западном и Северном регионах РФ.

Работа по созданию новых сортов всегда начинается с тщательной проработки исходного материала для подбора родительских форм и комбинаций скрещивания [1, 2]. В качестве исходного материала используют сорта, гибриды, проявившие лучшие агрономические признаки в той природно-климатической зоне, где ведется селекция [3, 4, 5, 6]. Для первичного изучения нового исходного материала, а также поддержания генетического материала в схеме селекционного процесса закладывают коллекционные питомники. Источником важнейших хозяйственно ценных признаков для селекции служит одна из крупнейших в мире коллекций картофеля ФИЦ «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н. В. Вавилова» (ВИР), которая включает селекционные сорта *Solanum tuberosum* L., а также дикорастущие и культурные виды из стран Южной, Центральной и Северной Америки [7, 8]. Коллекционный питомник картофеля Фалёнской селекционной станции – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-

Востока представлен сортообразцами из разных регионов мира, насчитывает 120–150 образцов и ежегодно пополняется сортообразцами из коллекции ВИР [9, 10]. Коллекционный питомник (КП) – это в первую очередь сохранение и поддержание генетического материала картофеля в почвенно-климатических условиях Кировской области. Так, например, в КП входят такие сорта, как Фалёнский, Новинка, Вятка, Шурминский 2, созданные на Фалёнской селекционной станции и районированные в период 1954–1991 гг.

**Цель исследований** – оценить коллекционные сорта картофеля и созданные новые сортообразцы по основным хозяйственно ценным признакам в агроэкологических условиях Кировской области для использования в схемах селекционного процесса.

**Научная новизна** – в результате селекционной работы на Фалёнской селекционной станции получены данные по коллекционным сортам картофеля, которые задействованы как исходный материал для гибридизации, а также новым генотипам с улучшенными агрономическими показателями.

**Материал и методы.** Исследования проводили сотрудники лаборатории селекции и первичного семеноводства картофеля на опытных полях Фалёнской селекционной станции в 2020–2023 гг. согласно методическим рекомендациям<sup>3</sup>.

Объекты исследований – сортообразцы картофеля российского и мирового ассортимента, селекционные номера, полученные в результате внутривидовой гибридизации. Сравнение вели со стандартными районированными сортами, утвержденными Госкомиссией по сортоиспытанию в Кировской области: раннеспелый Удача (ВНИИ картофельного хозяйства); среднеранний Невский (Северо-Западный НИИСХ); среднеспелый Чайка (ФАНЦ Северо-Востока).

<sup>1</sup>Сельскохозяйственная наука Северо-Востока европейской части России. Т. 1. Селекция и семеноводство: сб. научн. тр. к 100-летию Вятской сельскохозяйственной опытной станции. Киров, 1995. С. 49–55.

<sup>2</sup>ФГБУ «Госсорткомиссия». Реестр селекционных достижений. [Электронный ресурс].

URL: <https://gossortrf.ru/registry/> (дата обращения: 20.06.2024).

<sup>3</sup>Методика исследования по культуре картофеля. М., 1967. 264 с.; Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. Сост. Е. А. Симаков, Н. П. Складорова, И. М. Яшин. М.: Достижения науки и техники АПК, 2006. 70 с.



Почва опытных участков – дерново-подзолистая среднесуглинистая,  $pH_{KCl} = 4,8...5,2$  (потенциометрически), содержание гумуса 2,0...2,5 % (по Тюрину), подвижного фосфора – 288...304 мг/кг, обменного калия – 186...217 мг/кг почвы (по Кирсанову). Предшественник – зерновые культуры. В качестве удобрения под культивацию внесена нитроаммофоска ( $N_6P_{20}K_{30}$ ) в дозе 3,0 ц/га.

Скороспелость сортообразцов картофеля определяли путем выкапывания двух кустов на 60-й день от посадки. Продуктивность учитывали после уборки, оценивая вес клубней с одного куста (г/куст), количество товарных клубней (шт/куст), средний вес одного товарного клубня (г), товарность клубней (%). Сортообразцы в полевых условиях визуально оценивали по устойчивости к вирусным болезням, фитофторозу (*Phytophthora infestans* (Mont.) de Baru), альтернариозу (*Alternaria solani* Sorauer), парше обыкновенной (*Streptomyces scabies*) по 9-балльной шкале, где 9 – очень высокая устойчивость (отсутствие признаков болезни), 1 балл – отсутствие устойчивости (100 % поражение ботвы)<sup>4</sup>. Определение крахмала в клубнях проводили удельно-весовым методом по методике физиолого-биохимических исследований картофеля<sup>5</sup>.

Вегетационный период 2020 г. по метеопказателям был близок к среднегодовым значениям с температурой воздуха +0,6 °C к климатической норме, осадками – 97 % от нормы, гидротермический коэффициент по Селянинову<sup>6</sup> (ГТК) – 1,11. При этом осадки в третьей декаде июля и первой в августе, превысившие климатическую норму в 2,5 раза, спровоцировали на ботве картофеля появление в начале августа пятен фитофтороза, но размах эпифитотии фитофтороза в дальнейшем не наблюдали из-за засушливой погоды, отмечали лишь поражение клубней паршой обыкновенной в средней степени.

Вегетационный период 2021 г. характеризовался повышенными температурами воздуха – средняя температура за период с мая по август составила 17,8 °C (+3,1 °C к норме), ГТК = 0,75. Ситуацию усугубила установившаяся засуха в июне, когда выпало осадков всего 29 % от среднегодового значения. В этих условиях картофель прекратил рост и развитие надземной массы, прирост клубней остановился. В период засухи часть завязавшихся клубней редуци-

ровалась, прирост клубневой массы шел за счет роста оставшихся клубней, в результате выросли крупные клубни. Засушливые условия спровоцировали сильное развитие парши обыкновенной на восприимчивых сортах, что позволило оценить коллекционный материал по этому признаку.

Вегетационный период 2022 г. отличился неравномерным выпадением осадков – 64 % пришлось на период с середины мая до конца третьей декады июня. К посадке приступили позже среднегодовых сроков на две недели. ГТК июня составил 1,49. 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), в целом за вегетацию ГТК составил 0,76.

Вегетационный период 2023 г. характеризовался неравномерным выпадением осадков в течение всей вегетации картофеля, при этом сумма осадков за период с мая по август составила 70 % от среднегодовой нормы. Температурный диапазон колебался от 13,0 °C в III декаде июня до 20,6 °C в I декаде августа. ГТК за вегетационный период составил 1,42, что соответствовало климатической норме и положительно сказалось на продуктивности картофеля. Частые туманы в августе привели к эпифитотийному развитию патогена *Phytophthora infestans* и к уборке ботва у восприимчивых сортов полностью погибла, проявление альтернариоза было скрыто поражением ботвы фитофторозом, при уборке на клубнях картофеля отмечена в средней степени парша обыкновенная.

Статистическая обработка экспериментальных данных проведена с использованием пакета прикладных программ AGROS – версия 2.07 (приведено среднее значение и стандартное отклонение).

**Результаты и их обсуждение.** Изучение исходного материала за 2020–2023 гг. показало, что продуктивность картофеля зависела от складывающихся погодных условий в период вегетации. В наибольшей степени биологическим требованиям культуры отвечали условия 2020, 2021 и 2023 гг., в которые продуктивность клубней в целом по коллекционному питомнику составила 424, 436 и 601 г/куст соответственно при положительных значениях индекса условий среды ( $I_j$ )<sup>7</sup> (табл. 1).

<sup>4</sup>Международный классификатор СЭВ видов картофеля секции *Tuberarium* (Dun.) Buk. рода *Solanum* L. Л., 1984. 41 с.

<sup>5</sup>Методика физиолого-биохимических исследований картофеля. М., ВНИИКС, 1989. 142 с.

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

<sup>7</sup>Пакудин В. З., Лопатина Л. М. Оценка экологической пластичности и стабильности сельскохозяйственных культур. Сельскохозяйственная биология. 1984;(4):109–113.

Таблица 1 – Продуктивность коллекционных сортов картофеля, г/куст (2020–2023 гг.) /  
Table 1 – Productivity of collection potato cultivars, g/bush (2020–2023)

Сорт / Cultivar	Происхождение / Origin	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее / Average	CV, %
Раннеспелые / Early maturing							
Удача, ст. / 'Udacha', st.	Россия / Russia	447	490	220	601	440±160	36
Утенок / 'Utenok'		315	295	297	530	359±114	32
Каменский / 'Kamenskij'		330	575	123	455	371±193	52
Регги / 'Reggi'		405	395	141	395	334±129	39
Людмила / 'Lyudmila'	Германия / Germany	-	475	238	685	357±168	47
'Bellarosa'		460	472	153	423	377±151	40
'Dundrum'	Великобритания / Great Britain	560	460	276	550	462±132	29
Маделине / 'Madeline'	Нидерланды / Netherlands	370	600	143	590	426±216	51
Среднеранние / Middle early							
Невский, ст. / 'Nevsky', st.	Россия / Russia	434	442	230	561	417±137	33
Сказка / 'Skazka'		425	440	267	560	423±120	28
Эффект / 'Ehffekt'		685	425	219	770	525±251	48
Сударыня / 'Sudarynya'		460	550	-	-	505±64	13
Горняк / 'Gornyak'		540	500	153	475	417±178	43
Дина / 'Dina'	Беларусь / Belarus	405	330	216	640	398±179	45
Лиля / 'Lileya'		520	470	255	605	463±149	32
Манифест / 'Manifest'		520	530	145	432	407±180	44
Эволюшен / 'Ehvolushen'	Нидерланды / Netherlands	335	540	236	680	448±200	45
Среднеспелые / Mid-season							
Чайка, ст. / 'Chayka', st.	Россия / Russia	376	435	170	528	377±152	40
Ирбитский / 'Irbitskij'		420	450	179	500	387±143	37
Дубрава / 'Dubrava'	Беларусь / Belarus	470	405	220	455	388±115	30
Живица / 'Zhivica'		510	475	272	485	436±110	25
Рагнеда / 'Ragneda'		610	590	237	360	449±181	40
Зарево / 'Zarevo'	Украина / Ukraine	370	252	283	495	350±109	31
'Valkora'	Болгария / Bulgaria	460	505	301	825	523±220	42
'Sanetta'	Германия / Germany	370	630	147	720	467±260	56
'Mondeo'	Нидерланды / Netherlands	335	610	219	455	405±167	41
Индекс условий среды (Ij) / Environment index (Ij)		+13	+25	-227	+189	-	-

В неблагоприятный 2022 г. I<sub>j</sub> имел отрицательное значение, средняя продуктивность по опыту составила всего 185 г/куст. Наряду с высокой продуктивностью, в селекционной практике предпочтение отдается сортам с меньшим варьированием данного признака. В раннеспелой группе наименьшее варьирование показателя среди российских сортов имел Утенок (CV = 32 %), который в среднем за годы изучения не превзошел стандартный сорт Удача, но в засушливых условиях 2022 г. по продуктивности

(297 г/куст) превысил стандарт на 35 %. Из иностранных сортов выделился Dundrum (Великобритания), средняя продуктивность которого составила 462±132 г/куст (CV = 29 %).

В группе среднеранних сортов по показателям продуктивности и стабильности в сравнении со стандартным Невский (417±137 г/куст, CV = 33 %) выделены сорта Сказка (Россия) – 423±120 г/куст (CV = 28 %), Лиля (Беларусь) – 463±149 г/куст (CV = 32 %).

В группе среднеспелых сортов высокую  $467 \pm 260$  г/куст, но не стабильную ( $CV = 56\%$ ) по годам продуктивность сформировали нематодустойчивый Sanetta (Германия) и Valkora (Болгария) –  $523 \pm 220$  г/куст ( $CV = 42\%$ ). Стабильнее стандарта Чайка отмечены белорусские сорта Дубрава ( $388 \pm 115$  г/куст,  $CV = 30\%$ ) и Живица ( $436 \pm 110$  г/куст,  $CV = 25\%$ ).

Как уже отмечалось ранее [10], продуктивность картофеля складывается из количества клубней и среднего веса клубня, данные признаки генетически обусловлены и проявление их зависит от погодных условий. В схемы скрещивания были включены сорта, которые формировали крупные и ровные клубни: Bellarozza (112 г), Людмила (88 г), Регги (87), Ирбитский (85 г), Эволюшен (82 г), Лилея (73 г) (табл. 2).

По устойчивости к вирусным болезням по визуальной оценке отобранны сорта: Удача, Каменский, Рагнеда, Манифест, Sanetta.

В условиях Кировской области мало сортов, которые были устойчивы к фитофторозу, особенно восприимчивы сорта раннеспелой группы, к среднеустойчивым можно отнести Эффект, Сударыня, Рагнеда, Зарево.

В последние годы картофель поражается альтернариозом, в меньшей степени проявилось данное заболевание у сортов среднеспелой группы, у раннеспелых – Каменский и Dundrum, среднеранних – Сударыня и Эволюшен.

Отобранны сорта с повышенной устойчивостью к парше обыкновенной: Утенок, Горняк, Людмила и стандарт Чайка (9 баллов).

За годы изучения выделены сорта с повышенным (от 15 до 18 %) содержанием крахмала – Каменский, Людмила, Bellarozza, Горняк, Дина, Манифест, Эволюшен и др., высоким (18–23 %) – Сказка, Эффект, Лилея, Дубрава, Зарево.

Изученные коллекционные сортообразцы были включены в схемы селекционного процесса. В 2021 г. в питомнике гибридов первого года высажено 3999 генотипов, отобрано 318 для испытаний в селекционном питомнике второго года. Отбор по питомнику составил в среднем 7,9 %. Среди изученных гибридных популяций по проценту отбора выделена популяция Утенок х Регги, из которой отобрано 10 гибридов из 54, или 18,5 %.

В селекционном питомнике второго года в 2022 г. превышение по продуктивности над стандартным раннеспелым сортом Удача показали 36 номеров. Максимальную продуктивность имели сортообразцы: 69-21 – 702 г/куст и 283-21 – 685 г/куст (табл. 3). Пробные копки на скороспелость позволили выделить сортообразцы с ранним накоплением урожая: 69-21,

285-21, 184-21 с продуктивностью 490, 390 и 350 г/куст соответственно. По товарному качеству клубней отобранны селекционные номера: 69-21 с крупными, выравненными клубнями розового цвета, 19-21 с клубнями фиолетового цвета 100%-ной товарности.

В последние годы особый интерес вызывают сорта картофеля с окрашенной мякотью – от розового до фиолетового цвета. Цветная окраска мякоти и кожуры – это естественный пигмент, полученный при вовлечении в скрещивания диких видов картофеля. Установлено, что картофель с окрашенной мякотью содержит большее количество антоцианов и каротиноидов, употребление такого картофеля помогает защитить организм от образования свободных радикалов (оксидантов) [11, 12]. Современная селекция направлена на создание диетических сортов картофеля с лечебными свойствами, при употреблении которых улучшается самочувствие человека и повышается сопротивляемость организма к заболеваниям [13, 14]. Выращивание такого картофеля вряд ли будет занимать большие площади, скорее это будет интересовать фермеров и картофелеводов-любителей. Лаборатория селекции картофеля Фалёнской селекционной станции присоединилась к направлению по созданию сортов с окрашенной мякотью с 2011 г. По договору о совместном сотрудничестве с ФИЦ картофеля им. А. Г. Лорха были получены гибридные семена с сортом Bora Valley, который является одним из самых популярных сортов картофеля в Южной Корее. Кусты достигают высоты 60–70 см, имеют прямой стебель и раскидистые листья насыщенного зеленого цвета. Каждый куст может дать до 10 клубней, что делает его очень продуктивным, клубни крупные, кожура гладкая темно-фиолетовая, мякоть ярко-фиолетовая.

По устойчивости к вирусным болезням на уровне стандартных сортов отмечены селекционные номера из гибридной комбинации Утенок х Регги (283-21, 285-21), 24-21 (Радонежский х Bora Valley), 45-21 (Bellarozza х Дубрава), 296-21 (198-00 х Манифест).

В 2023 г. изучение селекционных номеров (всего 83 номера) было продолжено в питомнике предварительного испытания. Превысили стандарт Удача (421 г/куст) по урожайности 7 номеров (табл. 4), в т. ч. на 156 г/куст селекционный номер 234-21, накопление урожая на 60-й день после посадки составило 380 г/куст, что на 58 % выше стандарта. Максимальную продуктивность (610 г/куст) сформировал номер 195-21, по скороспелости среднеранний.

Таблица 2 – Хозяйственно полезные признаки коллекционных сортов картофеля (среднее за 2020–2023 гг.) /  
Table 2 – Agronomic traits of collection cultivars potato (average for 2020-2023)

Сорт / Cultivars	Продуктивность на 60-й день от посадки, г/куст / Productivity on the 60th day from the planting, g/bush	Число товарных клубней, шт/куст / Number of com- mercial tubers, pcs/bush	Средний вес товарного клубня, г / The average weight of a com- mercial tuber, g	Содержание крахмала, % / Starch content, %	Устойчивость / Resistance				
					к картофельной нематоды / to the potato nematode	вирусным / viral	фитофторозу / late blight	к болезням, балл / to diseases, score	
									парше / scab
Раннеспелые / Early maturing									
Удача, ст. / 'Udacha', st.	340	5,3	79	13,4	B*/S*	7	3	5-7	7
Утенок / 'Utenok'	320	4,3	67	14,0	B / S	3-5	1-3	5	9
Каменский / 'Kamenskij'	550	4,4	71	15,0	B / S	5-7	1	7	7
Регги / 'Reggi'	320	3,4	87	14,0	B / S	5	1	3	7
Людмила / 'Lyudmila'	320	4,0	88	15,1	У / R	5	3	5	9
'Bellarosa'	390	3,1	112	15,0	У / R	3	1	5	3
'Dundrum'	310	5,1	80	12,0	B / S	5	1	7	5-7
Маделине / 'Madeline'	270	4,6	77	14,0	У / R	5	3	5-7	7
Среднеранние / Middle early									
Невский, ст. / 'Nevsky', st.	340	5,8	65	15,5	B / S	3	3-5	5	1
Сказка / 'Skazka'	320	7,6	46	18,0	B / S	7	5	5-7	3-5
Эффект / 'Effekt'	150	5,5	78	18,0	B / S	5	5-7	5	3
Сударыня / 'Sudarynya'	250	9,0	56	14,4	У / R	7	7	7	5
Горняк / 'Gornyak'	350	5,5	67	15,3	У / R	5	1	5-7	9
Дина / 'Dina'	150	5,2	64	17,0	У / R	5-7	1-3	5	5
Лилея / 'Lileya'	240	5,4	73	18,0	У / R	7	5	5	5
Манифест / 'Manifest'	370	4,9	76	16,0	У / R	9	1	5-7	5
Эволюшен / 'Ehvolushen'	390	4,2	82	17,0	У / R	3-5	1	7	7
Среднеспелые / Mid-season									
Чайка, ст. / 'Chayka', st.	151	5,8	62	12,8	B / S	7	5	7	9
Ирбитский / 'Irbitskij'	240	4,1	85	16,0	У / R	5	1	7	7
Дубрава / 'Dubrava'	220	5,9	56	18,0	У / R	7	3	7	5
Живца / 'Zhivica'	230	5,7	69	17,0	У / R	7	3-5	7	7
Рэгнеда / 'Ragneda'	150	7,2	57	16,0	У / R	9	7-8	7	5
Зарево / 'Zarevo'	130	5,1	57	23,0	B / S	5	5-7	7	7
'Valkora'	200	5,3	77	-	B / S	7	1	7	5-7
'Sanetta'	450	5,3	63	-	У / R	9	1	7	3
'Mondeo'	230	4,8	71	11,8	У / R	5	3	9	7

\*Y – устойчив, B – восприимчив / \*R – resistant, S – susceptible

**Таблица 3 – Характеристика перспективных селекционных номеров картофеля по основным хозяйственно ценным признакам в питомнике гибридов первого года (2022 г.) /**

**Table 3 – Characteristics of promising potato breeding numbers according to the main economically valuable characteristics in the nursery of hybrids of the 1st year (2022)**

Селекционный номер / The breeding number	Гибридная комбинация / Hybrid combination	Продуктивность, г/куст / Productivity, g/bush			Товарность, % / Marketability, %	Устойчивость к вирусным болезням, балл / Resistance to various diseases, points
		фактическая / factual	± к ст. Удача, г/куст / to st. 'Udacha', g/bush	на 60-й день от посадки / on the 60th day from the planting		
Удача, ст. / 'Udacha', st.		303	-	330	97	7
Чайка, ст. / 'Chayka', st.		228	-	230	89	7
69-21	'Bellaroza' x 'Dubrava'	702	399	490	98	5
283-21	'Utenok' x 'Reggi'	685	382	-	99	7
24-21	'Radonezhskij' x 'Bora Valley'	534	231	330	97	7
291-21	'Utenok' x 'Reggi'	516	213	130	93	5
43-21	'Bellaroza' x 'Dubrava'	499	196	-	97	5
19-21	'Radonezhskij' x 'Bora Valley'	482	179	310	100	3
42-21	'Bellaroza' x 'Dubrava'	470	167	140	96	3
45-21	'Bellaroza' x 'Dubrava'	468	165	330	94	7
296-21	198-00 x 'Manifest'	448	145	130	94	7
285-21	'Utenok' x 'Reggi'	441	138	390	97	7
184-21	'Gornyak' x 'Innovator'	438	135	350	93	3
295-21	198-00 x 'Manifest'	421	118	310	98	5
64-21	'Bellaroza' x 'Dubrava'	416	113	-	96	5
2-21	'Radonezhskij' x 'Bora Valley'	414	111	260	95	3

**Таблица 4 – Характеристика селекционных номеров картофеля предварительного сортоиспытания по основным хозяйственно ценным признакам (2023 г.) /**

**Table 4 – Characteristics of the breeding numbers of potatoes of preliminary variety testing according to the main economically valuable characteristics (2023)**

Селекционный номер / The breeding number	Гибридная комбинация / Hybrid combination	Продуктивность, г/куст / Productivity, g/bush			Устойчивость к болезням, балл / Disease resistance, score		
		фактическая / the factual	± к ст. Удача, г/куст / to st. 'Udacha', g/bush	на 60-й день от посадки / on the 60th day from the planting	вирусным / viral	фито-фторозу / late blight	парше / scab
Удача, ст. / 'Udacha', st.		421	-	240	9	3	9
Чайка, ст. / 'Chayka', st.		370	-	140	9	3	9
195-21	109-09 x 'Irbitskij'	610	189	170	7	7	5
234-21	'Sudarynya' x 'Avrora'	577	156	380	9	3	7
202-21	109-09 x 'Irbitskij'	495	74	200	7	7	9
208-21	'Irbitskij' x 428-05	454	33	220	9	3	9
199-21	109-09 x 'Irbitskij'	444	23	300	7	1	9
3-21	'Radonezhskij' x 'Bora Valley'	423	2	370	9	3	7
45-21	'Bellaroza' x 'Dubrava'	423	2	290	7	2	7

Превысили ранний сорт-стандарт Удача по скороспелости селекционные номера 3-21 и 199-21, 234-21. Все выделенные селекционные номера по визуальной оценке среднеустойчивы к вирусным болезням, сильно поражаются

фитофторой, за исключением 195-21 и 202-21 из комбинации 109-09хИрбитский. Устойчивыми к парше обыкновенной отмечены: 202-21, 208-21, 199-21.



**Заключение.** Таким образом, по результатам исследований сортообразцов картофеля из коллекционного питомника Фалёнской селекционной станции в 2020–2023 гг. выделены по хозяйственно ценным признакам образцы различного срока созревания для использования в селекционном процессе с целью создания новых сортов (генотипов) для почвенно-климатических условий Кировской области (Волго-Вятский регион).

В селекционном питомнике второго года превышение по продуктивности над стандартным раннеспелым сортом Удача показали наиболее

перспективные номера: 69-21 – 702 г/куст, 283-21 – 685 г/куст, с ранним накоплением урожая – селекционные номера 69-21, 285-21, 184-21 с продуктивностью 490, 390 и 350 г/куст соответственно; по товарному качеству клубней выделены гибриды: 69-21 с крупными, выравненными клубнями и кожурой розового цвета, 19-21 с фиолетовой окраской кожуры клубней.

В питомнике предварительного испытания по результатам оценки отобраны перспективные номера: по продуктивности 195-21 и 234-21, скороспелости 3-21, 199-21 и 234-21; устойчивости к парше обыкновенной 199-21, 202-21, 208-21.

#### Список литературы

1. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Журавлев А. А., Митюшкин Ал-р В., Гайзатулин А. С., Салюков С. С., Овечкин С. В., Семенов В. А. Селекция конкурентоспособных сортов картофеля для различного назначения. Картофель и овощи. 2023;(1):35–40. DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.49.99.005> EDN: BSDCPK
2. Симаков Е. А., Митюшин А. В., Журавлев А. А., Митюшин Ал-р. В., Жарова В. А. Совершенствование подбора компонентов скрещивания в селекции сортов картофеля с повышенной питательной ценностью клубней. Земледелие. 2018;(5):30–33. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10508> EDN: USULBO
3. Новикова Л. Ю., Киру С. Д., Рогозина Е. В. Проявление хозяйственно-ценных признаков у сортов картофеля (*Solanum L.*) при изменении климата на европейской территории России. Сельскохозяйственная биология. 2017;52(1):75–83. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.75rus> EDN: YFQFDV
4. Шерстюкова Т. П., Ивашенко А. Д. Результаты комплексной оценки коллекции сортов картофеля в условиях Камчатского края. Дальневосточный аграрный вестник. 2019;(3(51)):64–68. DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-13037> EDN: BAULNO
5. Казак А. А., Логинов Ю. П., Гайзатулин А. С. Урожайность и качество клубней сортов и селекционных линий картофеля при выращивании в разных природно-климатических зонах Тюменской области. Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2021;(4(67)):11–16. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47405568> EDN: VKHJXF
6. Жигadlo Т. Э. Оценка селекционных сортов картофеля по ценным агрономическим признакам в условиях Мурманской области. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2022;183(4):107–114. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-107-114> EDN: VNMAAJ
7. Костина Л. И., Косарева О. С., Трускинов Э. В., Кирпичева Т. В. Коллекция селекционных сортов картофеля – источник исходного материала для селекции на продуктивность, скороспелость, устойчивость к болезням и вредителям. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(2):50–56. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-50-56> EDN: SZKCUL
8. Рогозина Е. В. Генетическое разнообразие коллекции картофеля ВИР и ее использование в селекции. Аграрная наука: вчера, сегодня, завтра: сб. тез. докл. Международ. научн.-практ. конф. Санкт-Петербург: ВИР, 2023. С. 65–66.
9. Синцова Н. Ф., Сергеева З. Ф. Изучение коллекционных сортов картофеля по продуктивности и устойчивости к болезням. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2017;(3(58)):31–35. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29184739> EDN: YOQWXP
10. Синцова Н. Ф., Лыскова И. В. Изучение исходного материала картофеля в условиях Кировской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020;21(6):697–705. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.697-705> EDN: VFOKDW
11. Гинс Е. М., Москалев Е. А., Поливанова О. Б., Митюшкин А. В., Симаков Е. А. Оценка содержания веществ с антиоксидантной активностью в образцах картофеля коллекции исходных родительских форм Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2020;15(3):242–252. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252> EDN: IHYMLA
12. Симаков Е. А., Митюшин А. В., Журавлев А. А., Митюшин Ал-р. В., Гайзатулин А. С., Салюков С. С., Овечкин С. В., Семенов В. А. Сравнительная оценка антиоксидантной активности сортов картофеля с различной пигментацией мякоти клубней. Вестник КрасГАУ. 2021;(11):24–31. DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-24-31> EDN: VGOOBZ
13. Дергилева Т. Т. Сапфир – новый сорт картофеля с цветной мякотью. Актуальные вопросы садоводства и картофелеводства: сб. тр. 4-й НПК с международным участием. Челябинск, 2022. С. 91–97.
14. Николаева О. В. Сравнительная оценка сортов картофеля с окрашенной мякотью. Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2023;(1):68–74. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50745258> EDN: FSIYSN

#### References

1. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushkin Al-r V., Gayzatulin A. S., Salyukov S. S., Ovechkin S. V., Semenov V. A. Selection of competitive potato varieties for various purposes. *Kartofel' i ovoshchi* = Potato and Vegetables. 2023;(1):35–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25630/PAV.2023.49.99.005>

2. Simakov E. A., Mityushin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushin Al-r. V., Zharova V. A. Improvement of selection of crossing components in potato breeding on higher nutritional value of tubers. *Zemledelie*. 2018;(5):30–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2018-10508>
3. Novikova L. Yu., Kiru S. D., Rogozina E. V. Valuable traits of potato (*Solanum* L.) varieties as influenced by climate change in European Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(1):75–83. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.1.75rus>
4. Sherstyukova T. P., Ivashchenko A. D. Results of complex assessment of collectable varieties of potato in the climate of Kamchatsky krai. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik* = Far Eastern Agrarian Herald. 2019;(3(51)):64–68. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-13037>
5. Kazak A. A., Loginov Yu. P., Gayzatulin A. S. Yield and quality of tubers of varieties and selection lines of potatoes when grown in different natural and climatic zones of the Tyumen region. *Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2021;(4(67)):11–16. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=47405568>
6. Zhigadlo T. E. Evaluation of improved potato cultivars according to their agronomic traits under the conditions of Murmansk Province. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2022;183(4):107–114. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2022-4-107-114>
7. Kostina L. I., Kosareva O. S., Truskinov E. V., Kirpicheva T. V. The collection of potato varieties as a reserve of source material for breeding for high yield, earliness, and resistance to diseases and pests. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020;181(2):50–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-2-50-56>
8. Rogozina E. V. Genetic diversity of the potato collection held by vir and its use for breeding purposes. Agricultural science: yesterday, today, tomorrow: a collection of abstracts of the International Scientific and Practical Conference. Sankt-Peterburg: VIR, 2023. pp. 65–66.
9. Sintsova N. F., Sergeeva Z. F. Study of collection potato varieties on productivity and disease resistance. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2017;(3(58)):31–35. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29184739>
10. Sintsova N. F., Lyskova I. V. The study of the source material of potatoes under conditions of Kirov region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(6):697–705. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.697-705>
11. Gins E. M., Moskalev E. A., Polivanova O. B., Mityushkin A. V., Simakov E. A. Antioxidant contents in potato cultivars from the collection of Russian potato research center. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2020;15(3):242–252. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2020-15-3-242-252>
12. Simakov E. A., Mityushin A. V., Zhuravlev A. A., Mityushin Al-r. V., Gayzatulin A. S., Salyukov S. S., Ovechkin S. V., Semenov V. A. Comparative evaluation of the antioxidant activity of potato varieties with different tuber pulp pigmentation. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2021;(11):24–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2021-11-24-31>
13. Dergileva T. T. Sapphire – a new variety of potatoes with colored pulp. Current issues of horticulture and potato growing: Collection of articles of the 4<sup>th</sup> scientific and practical conference with international participation. Chelyabinsk, 2022. pp. 91–97.
14. Nikolaeva O. V. Comparative evaluation of potato variety with colored pulp. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Vestnik of Kursk State Agricultural Academy. 2023;(1):68–74. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50745258>

#### **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](mailto:fss.nauka@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

**Пермяков Павел Васильевич**, младший научный сотрудник, Фалёнская селекционная станция – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Тимирязева, д. 3, п. Фалёнки, Кировская область, Российская Федерация, 612500, e-mail: [fss.nauka@mail.ru](mailto:fss.nauka@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-7494-1036>

**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](mailto: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](mailto:fss.nauka@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1079-3513>

**Pavel V. Permyakov**, junior 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](mailto:fss.nauka@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0009-0001-7494-1036>

**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](mailto:fss.nauka@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4795-4683>

✉ – Для контактов / Corresponding author

# СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ МИКРОБИОЛОГИЯ И МИКОЛОГИЯ / AGRICULTURAL MICROBIOLOGY AND MYCOLOGY

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1028-1037>

УДК 633.11:58.085:582.28



## Адаптация к почве стерильных растений пшеницы в условиях прикорневой обработки экзометаболитами базидиальных грибов

© 2024. О. Н. Шуплецова✉, Е. В. Товстик, Д. В. Попыванов

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

В 2023–2024 гг. изучали адаптацию пшеницы на этапе *in vitro* к *ex vitro* после перенесения в почву и прикорневой обработки 50 мл фильтратом культуральной жидкости (ФКЖ) ксилотрофных базидиальных грибов: *Phellinus igniarius* PI1, *Ganoderma lucidum* GL, *Ganoderma applanatum* GA, *Fomes fomentarius* FF2 и *Lentinula edodes* LE. Обработку ФКЖ (без разбавления, разбавленной в 10 и 100 раз) проводили при посадке растений в почву и на 25-е сутки их роста. Адаптационную способность стерильных растений к почве оценивали по уровню выживаемости, ростовым показателям и содержанию полифенолов в растительной ткани. ФКЖ *G. lucidum* GL независимо от разбавления в 10 и 100 раз снижал выживаемость (на 40–60 %) и последующий рост пшеницы (кустистость в 1,4–1,6 раза, биомассу стеблей в 1,2–7,3 раза и корней в 1,8–3,5 раза относительно контроля без обработки ФКЖ). На фоне различных концентраций ФКЖ *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE повышались кустистость в 1,3–2,0 раза, масса надземной части в 1,3–1,5 раза и корней в 2–6 раз. Содержание полифенолов в растениях зависело от факта обработки ФКЖ и вида грибов: в надземной части варьировало от 16,8 до 25,4 мг/г, в корнях от 19,0 до 29,1 мг/г. В общей структуре полифенолов доля свободных форм в надземной биомассе составила 23,7–43,1 %, корнях – 5,1–9,2 %. Отмечено повышение уровня свободных полифенолов в корнях пшеницы при применении ФКЖ всех испытываемых грибов (за исключением *G. lucidum* GL). Сделан вывод о влиянии ФКЖ на эффективность адаптации стерильных растений к почве в переходный период *in vitro/ex vitro* – положительное для *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE, отрицательное для *G. lucidum* GL, отсутствие существенного влияния для *P. igniarius* PI1 и *G. applanatum* GA.

**Ключевые слова:** проростки, *in vitro*, почвенные условия, переходный период, стрессопротектор, фильтрат культуральной жидкости, биологически активные вещества, ростовые показатели, полифенолы.

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шуплецова О. Н., Товстик Е. В., Попыванов Д. В. Адаптация к почве стерильных растений пшеницы в условиях прикорневой обработки экзометаболитами базидиальных грибов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1028–1037. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1028-1037>

Поступила: 25.07.2024

Принята к публикации: 28.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Adaptation of sterile wheat plants to soil under conditions of root treatment with exometabolites of basidiomycetes

© 2024. Olga N. Shupletsova✉, Evgeniya V. Tovstik, Dmitry V. Popyvanov

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

In 2023–2024 the adaptation of wheat at the *in vitro* stage to *ex vitro* was studied after transfer to soil and root treatment (50 ml) with the culture filtrate (CF) of xylophilic basidiomycetes: *Phellinus igniarius* PI1, *Ganoderma lucidum* GL, *Ganoderma applanatum* GA, *Fomes fomentarius* FF2 and *Lentinula edodes* LE. Treatment with CF (without dilution, diluted 10 and 100 times) was carried out when planting the plants in the soil and on the 25th day of their growth. The adaptive capacity of sterile plants to soil was assessed by the survival rate, growth indicators and the content of polyphenols in plant tissue. *G. lucidum* CL, regardless of 10- and 100-fold dilution, reduced the survival (by 40–60 %) and subsequent growth of wheat (tillering by 1.4–1.6 times, stem biomass by 1.2–7.3 times and root growth by 1.8–3.5 times relative to the control without treatment with CF). Against the background of various concentrations of *F. fomentarius* and *L. edodes* CF, tillering

increased by 1.3–2.0 times, the mass of the aboveground part by 1.3–1.5 times, and roots by 2–6 times. The content of polyphenols in plants depended on the fact of treatment with CF and the type of fungi: in the aboveground part it varied from 16.8 to 25.4 mg/g, in the roots from 19.0 to 29.1 mg/g. In the total structure of polyphenols, the proportion of free forms in the aboveground biomass was 23.7–43.1 % and in the roots – 5.1–9.2 %. An increase in the level of free polyphenols was noted in wheat roots upon application of CF of all tested fungi (except *G. lucidum* GL). A conclusion was made about the effect of CF on the efficiency of adaptation of sterile plants to soil during the transition period *in vitro/ex vitro* – positive for *F. fomentarius* FF2 and *L. edodes* LE, negative for *G. lucidum* GL, no significant effect for *P. igniarius* PI1 and *G. applanatum* GA.

**Key words:** sprouts, *in vitro*, soil conditions, transition period, stress protector, culture filtrate, biologically active substances, growth indicators, polyphenols

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

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

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

**For citations:** Shupletsova O. N., Tovstik E. V., Popyvanov D. V. Adaptation of sterile wheat plants to soil under conditions of root treatment with exometabolites of basidiomycetes. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1028–1037. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1028-1037>

Received: 25.07.2024

Accepted for publication: 28.11.2024

Published online: 25.12.2024

В последние десятилетия в растениеводстве все большее значение приобретают биотехнологические методы. Перспективным инструментом в этой области являются культуры изолированных клеток и тканей растений, используемых как в селекции, так и в получении генетически однородного оздоровленного посадочного материала<sup>1</sup> [1]. Культивирование растений *in vitro* сопряжено с определенными трудностями. Серьезной проблемой остается адаптация растений-регенерантов к нестерильным условиям. Такие растения часто имеют различные физиологические дефекты (гипергидричность, некроз кончиков побегов, скрученность новых листьев, хлороз и т. д.), приводящие к снижению побегообразования и роста [1]. Кроме того, для индукции ризогенеза у регенерантов на искусственных питательных средах, как правило, применяют ауксины (индолилуксусная, индолилмасляная и нафтилуксусная кислоты), длительное воздействие которых может привести к обратным эффектам – подавлению роста корней или полному отсутствию корневых волосков, связанных с недостатком кислорода и приводящих к ухудшению поглощения воды и минеральных солей [2, 3]. Совокупность перечисленных факторов затрудняет адаптацию стерильных растений в переходный период *in vitro/ex vitro* [4, 5]. Таким образом, неизбежны высокие потери регенерантного материала и возрастание его себестоимости [6]. Особую чувствительность при адаптации к почвенным условиям проявляют полученные в процессе клеточной селекции растения-регенеранты зерновых культур [7], гибель

которых приводит к существенным потерям труда. Оптимизация методов, направленных на снижение стрессового состояния стерильных растений при их переносе в почву, позволит уменьшить экономические и временные затраты специалистов. Для этого необходимо создавать условия, обеспечивающие активный рост корней и надземной части растений, а также восстановление функции устьичного аппарата в регулировании транспирации [8, 9]. Одним из решений данного вопроса является фоновая поддержка растений, в частности применение регуляторов роста, обладающих адаптогенным и протекторным действием [10].

Исследования некоторых авторов указывают на связь между содержанием биологически активных соединений в растительной ткани и устойчивостью растений к биотическим и абиотическим стрессорам [11, 12]. Одним из наиболее распространенных соединений вторичного метаболизма растений являются полифенолы. Их накопление и биосинтез зависят от различных факторов, включая физиолого-биохимические и молекулярно-генетические процессы в растительной ткани, а также условия окружающей среды [13]. Содержание и скорость метаболизма фенольных соединений усиливается в растениях при действии на них различных стрессовых факторов окружающей среды [14]. Одной из важнейших функций полифенольных соединений является их участие в защите растений от окислительного стресса благодаря выраженной антиоксидантной активности. Отмечается положительная корреляция между содержанием фенольных компонентов

<sup>1</sup>Калашникова Е. А. Клеточная инженерия растений: учебное пособие. М.: Юрайт, 2022. 333 с.



и антиоксидантной активностью растений в условиях почвенного стресса – при засухе и повышенном содержании кадмия [15, 16]. В настоящее время фенольные соединения все чаще рассматриваются как биохимические маркеры стрессового состояния злаковых культур [17, 18, 19]. Например, в условиях кадмиевого стресса (20 мг/кг почвы) увеличивается содержание флавоноидов, антоцианов и других фенольных веществ в листьях ячменя [15].

У растений в синтезе вторичных метаболитов участвуют как бактерии, так и грибы, находящиеся в прикорневой зоне или на поверхности растительной ткани. Под действием стресса происходят качественные и количественные изменения этого метаболического состава [20]. Исследования последних 10–15 лет свидетельствуют о том, что базидиальные грибы являются доступным источником биологически активных веществ (БАВ) с широким спектром действия и отвечают повышенным требованиям к экологичности производства. В литературных источниках недостаточно освещены результаты исследования культуральной жидкости высших грибов. Отрывочные данные имеются лишь по наиболее ценным видам грибов, используемых в медицинских целях. Так, например, культуральная жидкость *Gano-derma lucidum* содержит более 279 различных компонентов, включая ганодеровые кислоты, полисахариды, три-терпены ланостанового типа [21]. Внеклеточные метаболиты *Ganoderma applanatum* и *Phellinus igniarius* изучены недостаточно, имеются сведения об антимикробной активности выделенной из них полисахаридной фракции [22] и наличии флавоноидов [23]. *Lentinula edodes* при культивировании выделяют в жидкую питательную среду ферменты и бета-глюканы [24].

Метаболиты базидиальных грибов способны оказывать положительное влияние на адаптацию растений к новым условиям, снижая негативные последствия стресса и способствуя более быстрой реакции растений на изменения окружающей среды [25]. Можно предположить эффективность их использования в качестве стресспротекторов для микрорастений при переходе из условий *in vitro* в *ex vitro*. Однако применение подобных соединений в целях повышения стрессоустойчивости растений недостаточно изучено. Кроме того, возможна видовая и сортовая специфичность растений в ответных реакциях на их применение. Также требуют уточнения действующие концентрации БАВ в метаболитах исследуемых грибов.

В лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока изучается потенциал использования вторичных метаболитов ксилотрофных базидиальных грибов для стимуляции роста зерновых и повышения их устойчивости к абиотическим стрессорам. На данный момент выявлена действующая концентрация культуральной жидкости *Trametes pubescens* и *Trametes ochracea*, способствующая значительному увеличению биомассы проростков пшеницы [26]. В наших исследованиях оценку фитостимулирующей способности грибных штаммов проводили на растениях пшеницы, выращенных *in vitro*, после их переноса в почвенные условия. Ввиду сложного и дорогостоящего процесса получения растений-регенерантов зерновых культур в каллусной культуре для предварительного изучения использовали микрорастения, инициированные из незрелых зародышей, минуя стадию каллуса.

**Цель исследований** – оценка эффективности применения экзометаболитов ксилотрофных базидиальных грибов для адаптации стерильных проростков пшеницы к почвенным условиям.

**Научная новизна** – получены новые данные по влиянию грибных экзометаболитов на выживаемость и накопление биомассы стерильных растений пшеницы при переносе их в почву.

**Материал и методы.** Объектами исследования служили проростки пшеницы *Triticum aestivum* L. (генотип Е-27), полученные в асептических условиях из незрелых зародышей на искусственной питательной среде. Исследования проводили в 2023–2024 гг.

Прорастание зародышей осуществляли на искусственной/агаризованной питательной среде Мурасиге-Скуга в присутствии 2 мг/л 2,4-дихлорфеноксиуксусной кислоты и 25 г/л сахарозы. Микрорастения в возрасте 4–5 недель высаживали в вегетационные емкости объемом 5 л с почвой ( $\text{pH}_{\text{сол}} - 5,4 \pm 0,1$ ;  $\text{N-NO}_3^- - 12 \text{ мг/кг}$ ;  $\text{P}_2\text{O}_5 - 25 \text{ мг/кг}$ ;  $\text{K}_2\text{O} - 400 \text{ мг/кг}$ ). Осуществляли регулярное увлажнение почвы до 80 % полной влагоемкости. Прикорневое внесение фильтрата культуральной жидкости (ФКЖ) грибов осуществляли дважды: в момент высадки растений в почву и на 25-е сутки их роста. В работе использовали мицелиальные культуры природных изолятов ксилотрофных базидиальных грибов из коллекции лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений ФГБНУ ФАНЦ Северо-



Востока: *Phellinus igniarius* PI1, *Ganoderma lucidum* GL, *Ganoderma applanatum* GA, *Fomes fomentarius* FF2 и *Lentinula edodes* LE. Грибы культивировали в пивном сусле, разведенном до 4° Баллинга. Процесс культивирования осуществляли на лабораторном шейкере (200 об/мин) 10 суток. Для обработки использовали отфильтрованную культуральную жидкость. Варианты опыта включали обработку прикорневой зоны растений ФКЖ в количестве 50 мл: 1 – без разбавления; 2 – разбавление в 10 раз; 3 – разбавление в 100 раз. Контролем служил вариант без обработки ФКЖ. Количество растений на сосуд – 10 шт., повторность опыта – трехкратная. Выращивание растений осуществляли в климатической камере. Освещенность растений поддерживали на уровне 2000–3000 люкс с фотопериодом 16/8 ч.

По истечению 40 суток растения извлекали из почвы. После отмывки корней от почвы растения делили на структурные части (корни, стебли с листьями). Проводили оценку выживаемости и измерение биометрических показателей растений (кустистость, высота, воздушно-сухая масса корней и стеблей).

После высушивания и измельчения составляли объединенную пробу растительного сырья и экстрагировали полифенолы 2Н раствором гидроксида натрия при температуре 80 °С в течение двух часов. Полученные щелочные экстракты нейтрализовали 3М соляной кислотой. Экстрагирование свободных полифенолов проводили 70%-ным этиловым спиртом при температуре

5 °С в течение 16 часов. Определение содержания полифенолов осуществляли спектрофотометрическим методом. В качестве стандарта использовали галловую кислоту.

Аналитическое определение полифенолов для каждого из вариантов осуществляли в трехкратной повторности. За результат принимали среднее значение  $\pm$  стандартное отклонение. Достоверность различий при уровне значимости 0,05 между массивами данных отмечали на графиках латинскими буквами. Для статистического анализа результатов использовали метод ANOVA.

**Результаты и их обсуждение.** Исследования показали, что асептические растения пшеницы после пересадки в почву имели неодинаковый уровень жизнеспособности. Прикорневое внесение ФКЖ ксилотрофных базидиальных грибов оказывало влияние на рост растений. Установлено, что в присутствии ФКЖ *Ganoderma lucidum* GL независимо от разведения снижалась выживаемость растений на 40–60 % по сравнению с контролем (рис. 1). Отмечено колебание уровня выживаемости на 10 % по сравнению с контролем: повышение в вариантах с ФКЖ *Phellinus igniarius* PI1, независимо от концентрации; *Ganoderma applanatum* GA – при высоких концентрациях (без разведения или 1:10) и при малых – для *Fomes fomentarius* FF2 и *Lentinula edodes* LE (1:100); снижение – ФКЖ в нативной форме у *Fomes fomentarius* FF2 и *Lentinula edodes* LE.

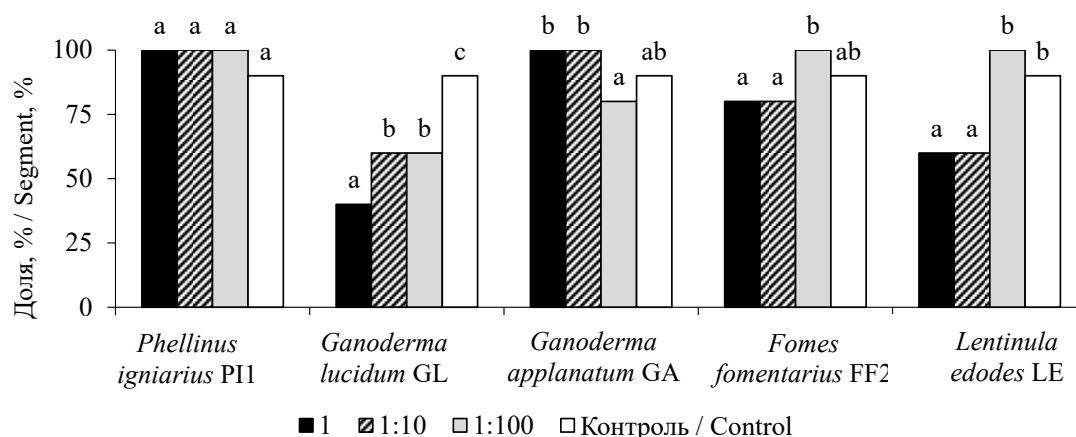


Рис. 1. Выживаемость растений пшеницы после пересадки в почву на 40-е сутки (одинаковыми буквами здесь и на рис. 2-3 отмечены значения, не отличающиеся при  $p < 0,05$  для каждого из изолятов ксилотрофных базидиальных грибов) /

Fig. 1. Survival rate of wheat plants in soil by the 40th day (identical letters here and in Fig. 2-3 indicate values that do not differ at  $p < 0.05$  for each of the isolates of xylophilic basidiomycetes)

На биометрические параметры пшеницы метаболиты исследуемых грибов также влияли неоднозначно. Повышалась кустистость расте-

ний на фоне высоких концентраций ФКЖ *F. fomentarius* FF2 (в 1,3 раза) и *L. edodes* LE (в 2 раза). На фоне гриба *G. lucidum* GL,

независимо от разведения, этот показатель снижался в 1,4–1,6 раза. Кроме того, увеличивалась высота растений относительно контроля в присутствии ФКЖ *G. applanatum* GA (1:10)

и *F. fomentarius* FF2 (1:100) на 16,2 и 16,6 % соответственно. Во всех остальных случаях достоверных отличий от контроля не выявлено (рис. 2).

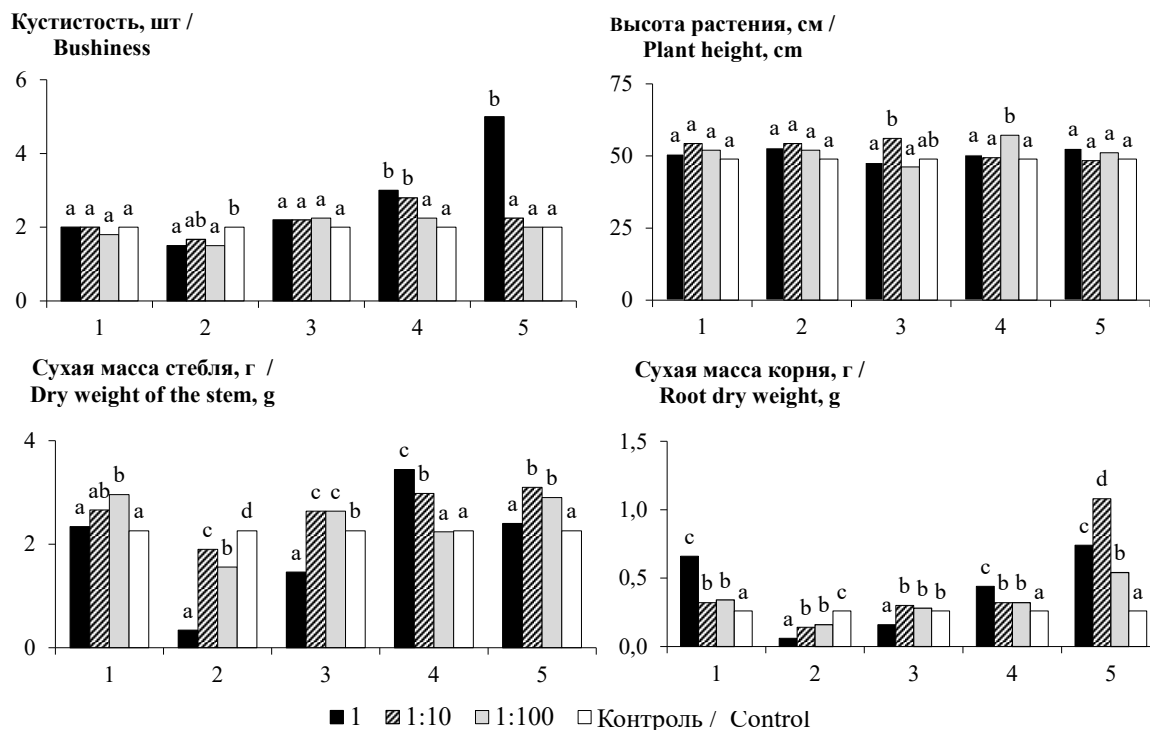


Рис. 2. Влияние ФКЖ грибов на биометрические показатели растений пшеницы: 1 – *Phellinus igniarius* PI1; 2 – *Ganoderma lucidum* GL; 3 – *Ganoderma applanatum* GA; 4 – *Fomes fomentarius* FF2; 5 – *Lentinula edodes* LE /

Fig. 2. Effect of fungal culture fluid filtrate on the biometric parameters of wheat plants: 1 – *Phellinus igniarius* PI1; 2 – *Ganoderma lucidum* GL; 3 – *Ganoderma applanatum* GA; 4 – *Fomes fomentarius* FF2; 5 – *Lentinula edodes* LE

В большей степени присутствие ФКЖ грибов в почве воздействовало на накопление биомассы корней и стеблей пшеницы. Прикорневая обработка *G. lucidum* GL снижала биомассу стеблей, особенно в нативной концентрации – в 7,3 раза по сравнению с контролем. Тогда как метаболиты *G. Applanatum* GA оказывали разнонаправленное действие – без разведения подавляли рост пшеницы в 1,5 раза, но в малой концентрации – стимулировали на 18 %. Присутствие метаболитов остальных грибов в почве в зависимости от разведения или существенно увеличивало надземную фитомассу в 1,3–1,5 раза или не изменяло ее. Рост корней подавлялся в 1,8–3,5 раза во всех вариантах с ФКЖ *G. lucidum* GL и в 1,8 раза с *G. applanatum* GA, но без разведения, и, напротив, метаболиты *P. igniarius* PI1, *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE способствовали увеличению конечной биомассы корней в 1,3–6,0 раз в зависимости от концентрации ФКЖ и вида гриба.

Морфометрическим изменениям обычно предшествуют биохимические колебания в растительной ткани, например, изменяется содержание полифенолов, имеющих существенное значение в формирование стрессоустойчивости растений [27].

В результате исследования установлено, что в условиях корневой обработки пшеницы ФКЖ грибов общее содержание полифенолов в надземной биомассе пшеницы изменялось в пределах 19,3–25,4 мг/г; в корнях – 19,0–29,1 мг/г (табл.). Грибные метаболиты в большинстве случаев не влияли на данный показатель. Значимые отличия от контроля по общему содержанию полифенолов отмечены лишь в вариантах опыта с обработкой растений *P. igniarius* PI1 (повышение в надземной биомассе на 17,4 % при 1:10), *F. fomentarius* FF2 (повышение в биомассе корней на 14,5 % при 1:10) и *G. lucidum* GL (снижение в биомассе корней на 30,2 % при 1:100).

Таблица – Общее содержание полифенолов в растениях пшеницы, мг/г / Table – Total polyphenol content in wheat plants, mg/g

Обработка / Treatment	Вариант опыта / Experiment variant			
	разведение / dilution			контроль / control
	1	1:10	1:100	
Надземная биомасса / Aboveground biomass				
<i>Phellinus igniarius</i> PI1	20,0±1,6	25,4±2,0*	19,3±1,5	20,5±1,6
<i>Ganoderma lucidum</i> GL	21,5±1,7	22,0±1,8	22,2±1,8	
<i>Ganoderma applanatum</i> GA	22,7±1,8	21,5±1,7	21,0±1,7	
<i>Fomes fomentarius</i> FF2	21,6±1,7	22,8±1,8	20,8±1,4	
<i>Lentinula edodes</i> LE	20,4±1,6	22,0±1,8	20,7±1,7	
Корни / Roots				
<i>Phellinus igniarius</i> PI1	25,8±2,1	27,3±2,2	27,2±2,2	24,8±1,9
<i>Ganoderma lucidum</i> GL	27,3±2,2	22,0±1,8	19,0±1,5*	
<i>Ganoderma applanatum</i> GA	28,0±2,2	23,7±1,9	25,2±2,0	
<i>Fomes fomentarius</i> FF2	22,6±1,8	29,1±2,3*	26,4±2,1	
<i>Lentinula edodes</i> LE	25,3±1,5*	24,8±1,9	24,9±1,9	

\* Достоверно отличается от контроля / \* Differs significantly from the control value

В общей структуре полифенолов доля сводных полифенолов в надземной биомассе (23,7–43,1 %) и корнях (5,1–9,2 %) существенно колебалась и в большей степени зависела от факта обработки ФКЖ грибов (рис. 3, а, б).

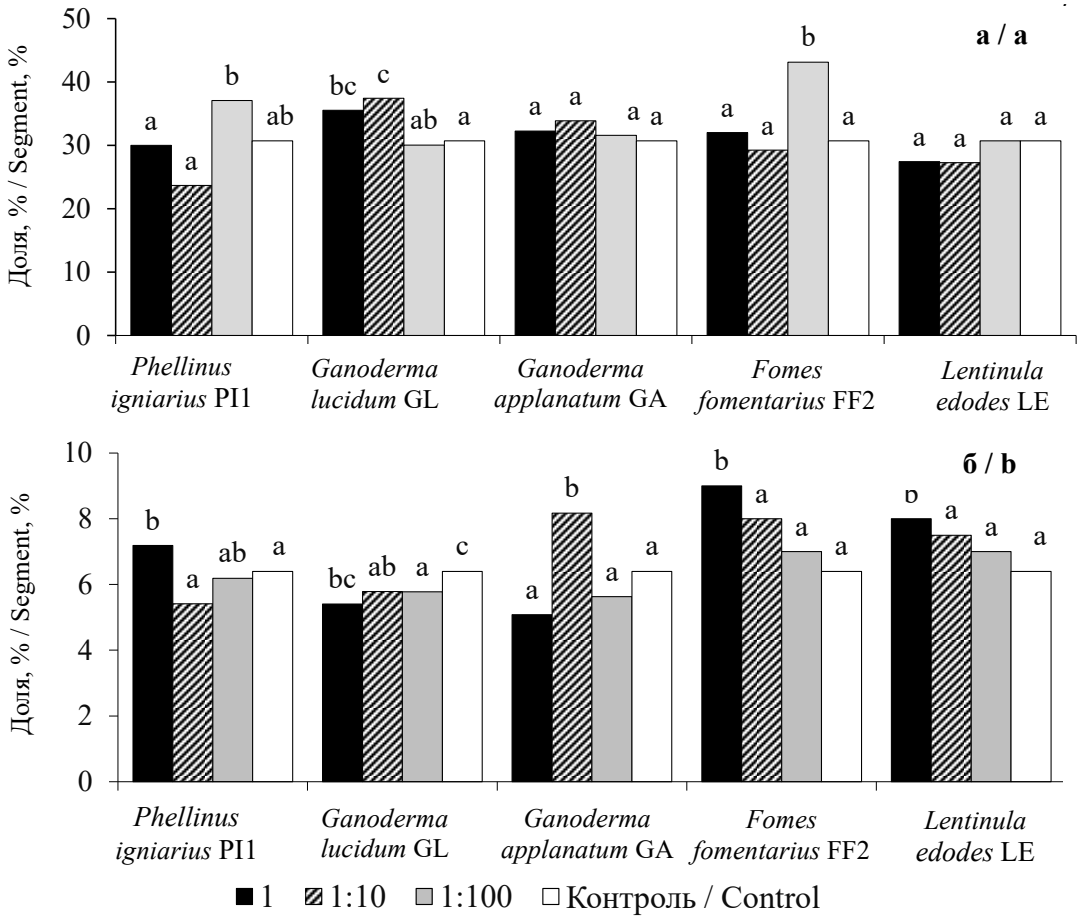


Рис. 3. Доля свободных полифенолов от их суммарного содержания в надземной массе (а) и корнях (б) пшеницы /

Fig. 3. The proportion of free polyphenols from their total content in the above-ground mass (a) and roots (b) of wheat

Повышенное содержание свободных полифенолов по сравнению с контролем, в случае надземной биомассы, отмечали в вариантах опыта с высокой концентрацией ФКЖ *G. Lucidum* GL и низкой (1:100) – *P. igniarius* PI1, *F. fomentarius* FF2. В остальных вариантах достоверные изменения отсутствовали.

В корнях пшеницы фиксировали снижение количества свободных полифенолов в 4,6–5,2 раза относительно надземной массы. Их доля в общей структуре полифенолов составила: контроль – 6,4 %; ФКЖ в разведениях – 5,8 %; нативная ФКЖ – 5,4 %. Корни активно накапливали свободные полифенолы на фоне, в основном, высоких концентраций ФКЖ (без разбавления) – *F. fomentarius* FF2, *L. edodes* LE, *P. igniarius* PI1; 1:10 – *G. applanatum* GA. Однако грибные метаболиты *G. lucidum* GL, независимо от разведения, ингибировали накопление свободных полифенолов в корнях.

Таким образом, если считать, что уровень полифенолов значительно увеличивается в стрессовых условиях, и, учитывая характер изменения ростовых показателей растений, можно предположить, что ФКЖ *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE способна снижать окислительный стресс в тканях пшеницы в переходный период *in vitro/ex vitro*

**Заключение.** В результате проведенных исследований установлено, что прикорневое внесение в почву ФКЖ базидиомицетов в большинстве случаев оказывало влияние на жизнеспособность микрорастений пшеницы на этапе адаптации к нестерильным условиям. Однако полученные результаты носили противоречивый характер. Присутствие культуральной жидкости в почве в большей степени воздействовало на накопление массы растений, как надземной части, так и корневой системы. Применение ФКЖ *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE однозначно оказывало положительный эффект на все исследованные параметры роста растений пшеницы. Метаболиты *G. lucidum* GL независимо от концентрации снижали как выживаемость, так и последующий рост пшеницы. Не удалось обнаружить четкой зависимости между варьированием ростовых

показателей пшеницы и количеством внесенной в почву ФКЖ грибов. Различие в воздействии культуральной жидкости на жизнеспособность растений, вероятно, объясняется сложностью строения, неодинаковым составом и сочетанием грибных метаболитов, а также их действующими концентрациями у различных видов базидиомицетов.

В условиях прикорневой обработки пшеницы изменялось содержание полифенолов в растительной ткани. Свободные полифенолы в большей степени накапливались в надземной части (в 4,6–5,2 раза выше по сравнению с корнями). Доля свободных форм в общей структуре полифенолов существенно колебалась по вариантам опыта и в большей степени зависела от внесения ФКЖ грибов в почву. Корни более остро по сравнению с надземной частью реагировали на присутствие грибных метаболитов в зависимости от вида грибов. На фоне ФКЖ *G. lucidum* GL, с одной стороны, и *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE, с другой стороны, наблюдали разнонаправленное изменение содержания полифенолов.

На основании проведенных исследований сделан вывод о влиянии ФКЖ грибов на эффективность адаптации стерильных растений к почве – положительное для *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE, отрицательное для *G. lucidum* GL, отсутствие существенного влияния для *P. igniarius* PI1 и *G. applanatum* GA. Совокупность положительных эффектов в повышении ростовых показателей и уровня полифенолов, достигнутый при применении *F. fomentarius* FF2 и *L. edodes* LE, позволяет предположить, что метаболиты культуральной жидкости этих штаммов способны снижать окислительный стресс у пшеницы в переходный период – *in vitro* к *ex vitro*.

Для более объективной оценки перспективности использования метаболитов базидиальных грибов в качестве стресспротекторов при работе со стерильными растениями, необходимы дополнительные исследования биохимического состава культуральной жидкости, а также оптимизация способа применения к данным биологическим объектам.

#### Список литературы

1. Mayer N. A., Bianchi V. J., Feldberg N. P., Morini S. Advances in peach, nectarine and plum propagation. Revista Brasileira de Fruticultura. 2017;39(4):355. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452017355>
2. Шаяхметов И. Ф., Круглова Н. Н., Зайнутдинова Э. М. Повышение эффективности соматического эмбриогенеза яровой пшеницы в культуре *in vitro*. Итоги биологических исследований. Уфа: БашГУ, 2004. С. 56–60.

3. Arabi M. I. E., Al-Safadi B., Jawar M., Mir-Ali M. Enhancement of embryogenesis and plant regeneration from barley anther culture by low doses of gamma irradiation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2005;41(6):762–764. DOI: <https://doi.org/10.1079/IVP2005699>
4. Корнацкий С. А. Комплекс факторов, влияющих на жизнеспособность, рост и развитие микрорастений после культуры *in vitro*. Плодоводство и ягодоводство России. 1999;6:64–68.
5. Деменко В. И., Лебедев В. Г. Адаптация растений, полученных *in vitro*, к нестерильным условиям. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2011;(1):60–70.  
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16728686> EDN: OCBXTZ
6. Niedz R. P., Evens T. J. Regulating plant tissue growth by mineral nutrition. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2007;43(4):370–381. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11627-007-9062-5>
7. Шуплецова О. Н., Огородникова С. Ю., Назарова Я. И. Эффекты неспецифической устойчивости генотипов ячменя, полученных путем клеточной селекции. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2020;181(4):192–199. DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-192-199> EDN: VPLHDD
8. Namanda S., Gibson R. W., Kirimi S. Sweetpotato seed systems in Uganda, Tanzania and Rwanda. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2011;35(8):870–884. DOI: <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.590572>
9. Ogero K. O., Gitonga N. M., Mwangi M., Ombori O., Ngugi M. A lowcost medium for sweet potato micropropagation. *African Crop Science Conference Proceedings*. 2011;10:57–63.  
URL: <http://repository.must.ac.ke/handle/123456789/1196>
10. Акимова С. В., Раджабов А. К., Бухтин Д. А., Киркач В. В., Аладина О. Н., Деменко В. И., Белошапкина О. О. Адаптация к нестерильным условиям растений винограда укорененных *in vitro* на питательной среде, обогащенной кремнийорганическими соединениями. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019;(5):34–53. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41535033> EDN: WBTOUQ
11. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain. *Plants*. 2021;10(1):86. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10010086>
12. Ma Y., Freitas H., Dias M. C. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1024243. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>
13. Zagorskina N. V., Zubova M. Y., Nechaeva T. L., Kazantseva V. V., Goncharuk E. A., Katanskaya V. M., Baranova E. N., Aksenova M. A. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(18):13874.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
14. Курамшина З. М., Смирнова Ю. В. Влияние кадмия на накопление фенольных соединений в побегах *Triticum aestivum*, инокулированных эндофитными бактериями. *Universum: химия и биология*. 2019;3(57):11–13.  
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37155418> EDN: ZALXCH
15. Yaseen S., Amjad S. F., Mansoor N., Kausar S., Shahid H., Alamri S. A. M., et al. Supplemental Effects of Biochar and Foliar Application of Ascorbic Acid on Physio-Biochemical Attributes of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Cadmium-Contaminated Soil. *Sustainability*. 2021;13(16):9128. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13169128>
16. Han Z., Ahsan M., Adil M. F., Chen X., Nazir M. M., Shamsi I. H., Zeng F., Zhang G. Identification of the gene network modules highly associated with the synthesis of phenolics compounds in barley by transcriptome and metabolome analysis. *Food Chemistry*. 2020;323:126862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126862>
17. Шагина Н. А., Азимова Ф. Ш. Перспективы использования растительных флавоноидов в различных отраслях промышленности и в медицине. Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017;(Т31):1286–1290.  
Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29216307> EDN: YPIVXD
18. Rao S., Santhakumar A. B., Chinkwo K. A., Blanchard C. L. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location. *Cereal Chemistry*. 2020;97(4):772–782.  
DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10291>
19. Moreno-Camachoabc C. A., Montoya-Torresa J. R., Jaeglerbc A., Gondranc N. Sustainability metrics for real case applications of the supply chain network design problem: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*. 2019;231:600–618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.278>
20. Koza N. A., Adedayo A. A., Babalola O. O., Kappo A. P. Microorganisms in Plant Growth and Development: Roles in Abiotic Stress Tolerance and Secondary Metabolites Secretion. *Microorganisms*. 2022;10(7):1528.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081528>
21. Ma Z., Xu M., Wang Q., Wang F., Zheng H., Gu Z., et al. Development of an efficient strategy to improve extracellular polysaccharide production of *Ganoderma lucidum* using L-phenylalanine as an enhancer. *Frontiers in microbiology*. 2019;10:2306. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02306>
22. Lee W. Y., Park Y., Ahn J. K., Ka K. H., Park S. Y. Factors influencing the production of endopolysaccharide and exopolysaccharide from *Ganoderma applanatum*. *Enzyme and microbial technology*. 2007;40(2):249–254.  
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.04.009>
23. Shi L., Tan Y., Sun Z., Ren A., Zhu J., Zhao M. Exogenous salicylic acid (SA) promotes the accumulation of biomass and flavonoid content in *Phellinus igniarius* (*Agaricomycetes*). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2019;21(10):955–963. DOI: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2019032557>
24. Xiang Q., Zhang H., Chen X., Hou S., Gu Y., Yu X., Zhao K., et al. Enhanced Effects of Iron on Mycelial Growth, Metabolism and In Vitro Antioxidant Activity of Polysaccharides from *Lentinula edodes*. *Bioengineering*. 2022;9(10):581.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100581>



25. Бызова М. А., Ермошин А. А., Киселева И. С. Экстракты трутовых грибов уменьшают цитотоксичность ионов кадмия в *Hordeum*-тесте. Биомика. 2022;14(4):310–314. DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2022-30> EDN: BHLOQE

26. Кононова О. Е., Злобина Ю. А., Попыванов Д. В. Оценка ростостимулирующей активности базидиальных грибов. Методы и технологии в селекции растений и растениеводстве: мат.-лы X Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 300-летию Российской академии наук. Киров: ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока, 2023. С. 111–114. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63868470&pff=1> EDN: RBGVVJ

27. Шуплецова О. Н., Товстик Е. В., Щенникова И. Н. Изменение содержания полифенолов в растениях ячменя на стрессовых почвенных фонах. Российская сельскохозяйственная наука. 2023;(6):15–19. DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262723060030> EDN: NNMCAD

### References

1. Mayer N. A., Bianchi V. J., Feldberg N. P., Morini S. Advances in peach, nectarine and plum propagation. *Revista Brasileira de Fruticultura*. 2017;39(4):355. DOI: <https://doi.org/10.1590/0100-29452017355>
2. Shayakhmetov I. F., Kruglova N. N., Zaynutdinova E. M. Improving the efficiency of somatic embryogenesis of spring wheat in *in vitro* culture. Results of biological research. Ufa: *BashGU*, 2004. pp. 56–60.
3. Arabi M. I. E., Al-Safadi B., Jawar M., Mir-Ali M. Enhancement of embryogenesis and plant regeneration from barley anther culture by low doses of gamma irradiation. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2005;41(6):762–764. DOI: <https://doi.org/10.1079/IVP2005699>
4. Kornatskiy S. A. Complex of factors affecting viability, growth, and development of microplants after *in vitro* culture. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* = Pomiculture and small fruits culture in Russia. 1999;6:64–68. (In Russ.).
5. Demenko V. I., Lebedev V. G. Adaptation of plants obtained *in vitro* to non-sterile conditions. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2011;(1):60–70. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16728686>
6. Niedz R. P., Evens T. J. Regulating plant tissue growth by mineral nutrition. *In Vitro Cellular & Developmental Biology – Plant*. 2007;43(4):370–381. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11627-007-9062-5>
7. Shupletsova O. N., Ogorodnikova S. Yu., Nazarova Ya. I. Effects of nonspecific resistance in barley genotypes obtained by cell selection. *Trudy po prikladnoy botanike, genetike i seleksii* = Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020;181(4):192–199. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-192-199>
8. Namanda S., Gibson R. W., Kirimi S. Sweetpotato seed systems in Uganda, Tanzania and Rwanda. *Journal of Sustainable Agriculture*. 2011;35(8):870–884. DOI: <https://doi.org/10.1080/10440046.2011.590572>
9. Ogero K. O., Gitonga N. M., Mwangi M., Ombori O., Ngugi M. A lowcost medium for sweet potato micropropagation. *African Crop Science Conference Proceedings*. 2011;10:57–63. URL: <http://repository.must.ac.ke/handle/123456789/1196>
10. Akimova S. V., Radzhabov A. K., Bukhtin D. A., Kirkach V. V., Aladina O. N., Demenko V. I., Beloshapkina O. O. Adaptation to non-sterile conditions of grape plants rooted *in vitro* in a nutrient media enriched by organosilicon compounds. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2019;(5):34–53. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41535033>
11. Loskutov I. G., Khlestkina E. K. Wheat, Barley, and Oat Breeding for Health Benefit Components in Grain. *Plants*. 2021;10(1):86. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10010086>
12. Ma Y., Freitas H., Dias M. C. Strategies and prospects for biostimulants to alleviate abiotic stress in plants. *Frontiers in Plant Science*. 2022;13:1024243. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.1024243>
13. Zagorskina N. V., Zubova M. Y., Nechaeva T. L., Kazantseva V. V., Goncharuk E. A., Katanskaya V. M., Baranova E. N., Aksenova M. A. Polyphenols in Plants: Structure, Biosynthesis, Abiotic Stress Regulation, and Practical Applications (Review). *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(18):13874. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms241813874>
14. Kuramshina Z. M., Smirnova Yu. V. Effect of cadmium on accumulation of phenol compounds in *Triticum aestivum* shoots, inoculated by endophytic bacteria. *Universum: khimiya i biologiya*. 2019;3(57):11–13. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=37155418>
15. Yaseen S., Amjad S. F., Mansoor N., Kausar S., Shahid H., Alamri S. A. M., et al. Supplemental Effects of Biochar and Foliar Application of Ascorbic Acid on Physio-Biochemical Attributes of Barley (*Hordeum vulgare* L.) under Cadmium-Contaminated Soil. *Sustainability*. 2021;13(16):9128. DOI: <https://doi.org/10.3390/su13169128>
16. Han Z., Ahsan M., Adil M. F., Chen X., Nazir M. M., Shamsi I. H., Zeng F., Zhang G. Identification of the gene network modules highly associated with the synthesis of phenolics compounds in barley by transcriptome and metabolome analysis. *Food Chemistry*. 2020;323:126862. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126862>
17. Shagina N. A., Azimova F. Sh. Prospects for the use of plant flavonoids in various industries and in medicine. *Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal «Kontsept»*. 2017;(T31):1286–1290. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29216307>
18. Rao S., Santhakumar A. B., Chinkwo K. A., Blanchard C. L. Investigation of phenolic compounds with antioxidant activity in barley and oats affected by variation in growing location. *Cereal Chemistry*. 2020;97(4):772–782. DOI: <https://doi.org/10.1002/cche.10291>

19. Moreno-Camachoabc C. A., Montoya-Torresa J. R., Jaeglerbc A., Gondranc N. Sustainability metrics for real case applications of the supply chain network design problem: A systematic literature review. *Journal of Cleaner Production*. 2019;231:600–618. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.278>
20. Koza N. A., Adedayo A. A., Babalola O. O., Kappo A. P. Microorganisms in Plant Growth and Development: Roles in Abiotic Stress Tolerance and Secondary Metabolites Secretion. *Microorganisms*. 2022;10(7):1528. DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10081528>
21. Ma Z., Xu M., Wang Q., Wang F., Zheng H., Gu Z., et al. Development of an efficient strategy to improve extracellular polysaccharide production of *Ganoderma lucidum* using L-phenylalanine as an enhancer. *Frontiers in microbiology*. 2019;10:2306. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2019.02306>
22. Lee W. Y., Park Y., Ahn J. K., Ka K. H., Park S. Y. Factors influencing the production of endopolysaccharide and exopolysaccharide from *Ganoderma applanatum*. *Enzyme and microbial technology*. 2007;40(2):249–254. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2006.04.009>
23. Shi L., Tan Y., Sun Z., Ren A., Zhu J., Zhao M. Exogenous salicylic acid (SA) promotes the accumulation of biomass and flavonoid content in *Phellinus igniarius* (*Agaricomycetes*). *International Journal of Medicinal Mushrooms*. 2019;21(10):955–963. DOI: <https://doi.org/10.1615/IntJMedMushrooms.2019032557>
24. Xiang Q., Zhang H., Chen X., Hou S., Gu Y., Yu X., Zhao K., et al. Enhanced Effects of Iron on Mycelial Growth, Metabolism and In Vitro Antioxidant Activity of Polysaccharides from *Lentinula edodes*. *Bioengineering*. 2022;9(10):581. DOI: <https://doi.org/10.3390/bioengineering9100581>
25. Byzova M. A., Ermoshin A. A., Kiseleva I. S. Polypore fungus extracts reduce cytotoxicity of cadmium ions in the Hordeum test. *Biomika = Biomics*. 2022;14(4):310–314. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31301/2221-6197.bmcs.2022-30>
26. Kononova O. E., Zlobina Yu. A., Popyanov D. V. Evaluation of the growth-stimulating activity of basidial fungi. Methods and technologies in plant breeding and crop production: Proceedings of the Xth International scientific-practical conf., dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences. Kirov: FGBNU FANTs Severo-Vostoka, 2023. pp. 111–114. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63868470&pff=1>
27. Shupletsova O. N., Tovstik E. V., Shchennikova I. N. Reaction of barley varieties on the content of polyphenols on stress soil backgrounds. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*. 2023;(6):15–19. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S2500262723060030>

#### Сведения об авторах

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

**Товстик Евгения Владимировна**, кандидат биол. наук, доцент, научный сотрудник лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

**Попыванов Дмитрий Владимирович**, кандидат биол. наук, заведующий лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4978-4542>

#### Information about the authors

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

**Evgeniya V. Tovstik**, PhD in Biological Science, senior researcher, associate professor, researcher, the Laboratory of Biotechnological Methods of Agricultural Plant Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

**Dmitry V. Popyanov**, PhD in Biological Science, Head of the Laboratory of Biotechnological Methods of Agricultural Plant Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin Str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4978-4542>

✉ – Для контактов / Corresponding author

## Биологические особенности различных штаммов стрептомицетов как потенциальных агентов биоконтроля фитопатогенов

© 2024. А. В. Бакулина<sup>1</sup>✉, Е. В. Товстик<sup>1</sup>, Е. А. Бессолицына<sup>1</sup>,  
Н. В. Новоселова<sup>1</sup>, Н. С. Жемчужина<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», р. п. Большие Вяземы, Российская Федерация

В статье представлены результаты изучения биологических особенностей (антагонистическая и целлюлазная активность, устойчивость к антибиотикам, продукция индолил-3-уксусной кислоты (ИУК), наличие генов поликетид-синтаз и целлюлаз) 13 бактериальных штаммов рода *Streptomyces*. В ходе скрининга выявлен штамм *Streptomyces* sp. 2K10 с высоким уровнем антифунгальной активности в отношении патогена *Fusarium proliferatum*, три штамма (RPLN23, 1N8, 3N2) – антагониста возбудителя септориоза пшеницы (*Parastagonospora nodorum*). В качестве агента биоконтроля фитопатогенов наиболее перспективным среди изученных стрептомицетов является штамм RPLN23, характеризующийся антифунгальной активностью (диаметр зон ингибирования 24–30 мм), наличием генов PKSII (229 п.н.) и способностью синтезировать ИУК. Для биоконтроля бактериальных и грибных патогенов предлагается использовать штамм *Streptomyces* sp. 3N3. Также в работе выявлены штаммы, способные к эффективной деструкции карбоксиметилцеллюлозы (PILN12, 2K9 и 3K9), и штаммы, имеющие в геноме гены, кодирующие целлюлазы семейства GH74 (RSFN5, RPLN12, 3N2). Ряд стрептомицетов (RSFN5, RPLN5), не проявивших антагонизма к исследуемым культурам грибов и бактерий, в то же время интересны наличием генов PKSII и GH74. Большинство исследованных в работе стрептомицетов чувствительны к антибиотикам различных групп: аминогликозидам, тетрациклину, полипептидам, хлорамфениколам, ансамицинам и макролидам, но не β-лактамам. Полученные данные вносят вклад в раскрытие потенциала стрептомицетов для их практического использования.

**Ключевые слова:** *Streptomyces*, антагонизм к фитопатогенам, биосинтетический потенциал, антибиотики, поликетид-синтазы, целлюлазы, продукция ИУК

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого» (тема № FNWE-2022-0001).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в оценку данной статьи.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Бакулина А. В., Товстик Е. В., Бессолицына Е. А., Новоселова Н. В., Жемчужина Н. С. Биологические особенности различных штаммов стрептомицетов как потенциальных агентов биоконтроля фитопатогенов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1038–1049. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1038-1049>

Поступила: 28.07.2024

Принята к публикации: 26.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Biological features of various streptomyces strains as potential agents of phytopathogens biocontrol

© 2024. Anna V. Bakulina<sup>1</sup>✉, Eugeniya V. Tovstik<sup>1</sup>, Ekaterina A. Bessolitsyna<sup>1</sup>,  
Nina V. Novoselova<sup>1</sup>, Natalya S. Zhemchuzhina<sup>2</sup>

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

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Phytopathology, Bolshye Vyazemy, Russian Federation

The article presents the results of studying the biological characteristics (antagonistic and cellulase activity, antibiotic resistance, indolyl-3-acetic acid (IAA) production, the presence of polyketide synthase and cellulase genes) of 13 bacterial strains of the genus *Streptomyces*. The screening revealed a strain of *Streptomyces* sp. 2K10 with a high level of antifungal activity against the pathogen *Fusarium proliferatum*; three strains (RPLN23, 1N8, 3N2) – antagonist of the causative agent of wheat septoria nodorum blotch (*Parastagonospora nodorum*). As a biocontrol agent of phytopathogens, the most promising strain among the studied streptomycetes is RPLN23, characterized by antifungal activity (diameter of inhibition zones 24–30 mm), the presence of PKS II genes (229 bp) and the ability to synthesize IAA. For biocontrol of bacterial and fungal pathogens, it is proposed to use the strain *Streptomyces* sp. 3N3. The work also revealed strains capable of effective destruction of carboxymethylcellulose (RPLN12, 2K9 and 3K9), and strains with genes encoding cellulases of the GH74 family (RSFN5, RPLN12, 3N2) in the genome. A number of streptomycetes (RSFN5, RPLN5), which did not show antagonism to the studied cultures of fungi and bacteria, are at the same time interesting for the presence of the PKS II and GH74 genes. Most of the streptomycetes studied in the work are sensitive to antibiotics of various groups: aminoglycosides, tetracycline, polypeptides, chloramphenicols,

*ansamycins and macrolides, but not  $\beta$ -lactams. The obtained data contribute to the disclosure of the potential of streptomycetes for their practical use.*

**Keywords:** *Streptomyces*, antagonism to phytopathogens, biosynthetic potential, antibiotics, polyketide synthases, cellulases, IAA products

**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-2022-0001).

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:** Bakulina A. V., Tovstik E. V., Bessolitsyna E. A., Novoselova N. V., Zhemchuzhina N. S. Biological features of various streptomycetes strains as potential agents of phytopathogens biocontrol. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2024;25(6):1038–1049. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1038-1049>

Received: 28.07.2024

Accepted for publication: 26.11.2024

Published online: 25.12.2024

Стратегии растениеводства, основанные на взаимодействии растений и микроорганизмов, активно развиваются и считаются наиболее экологически безопасным способом повышения урожайности и качества сельскохозяйственной продукции [1, 2]. Среди разнообразия микроорганизмов, обладающих ценными свойствами с точки зрения ассоциативных взаимодействий с растениями, значительный интерес вызывают мицелиальные бактерии рода *Streptomyces*, способные стимулировать рост растений и осуществлять биоконтроль фитопатогенов [3].

Преимуществом стрептомицетов является высокая метаболическая активность. В базе данных StreptomeDB имеется информация о 6500 метаболитах, продуцируемых около 3300 штаммами стрептомицетов [4]. Представители данного рода синтезируют более чем две трети клинически полезных антибиотиков природного происхождения (например, неомицин и хлорамфеникол) [5]. Однако поиск новых вторичных метаболитов и кластеров генов, ответственных за их биосинтез, продолжается и является основной целью проводимых в настоящее время исследований этой группы микроорганизмов [6].

Стрептомицеты характеризуются разнообразием механизмов, обеспечивающих их антагонизм к фитопатогенам: конкуренция за питательные вещества, синтез антибиотических веществ, литических ферментов. Также большинство стрептомицетов относятся к RGPB (plant growth promotion bacteria) и способны стимулировать рост растений, обеспечивая их элементами минерального питания и продуцируя регуляторы роста [3, 7]. Установлено, что большинство стрептомицетов эффективно колонизируют ризосферу и ризоплану растений, а некоторые из них являются эндофитами [8].

В качестве биопрепаратов для защиты растений используют как непосредственно бактериальные культуры стрептомицетов (*S. lydicus*

WYEC108, *S. violaceusniger* YCED9, *S. griseoviridis* K61, *S. saraceticus* KH400), так и их очищенные метаболиты (например, полиоксин D, стрептомицин, касугамицин). В первом случае биопрепаратом обрабатывают почву, во втором – распыляют на листья растений в качестве фунги- и/или бактерицида [2]. К настоящему времени представители десяти видов рода *Streptomyces* зарегистрированы в качестве коммерческих препаратов, а несколько других находятся на ранних стадиях разработки [3, 9]. Таким образом, доля зарегистрированных биопрепаратов, полученных на основе *Streptomyces* spp. в сравнении с их биосинтетическим потенциалом и видовым разнообразием, очень мала, хотя биоконтроль с помощью RGPB является экологически обоснованным подходом [10].

**Цель исследований** – изучение отдельных физиолого-биохимических и генотипических характеристик различных штаммов рода *Streptomyces* в связи с оценкой их потенциала как агентов биоконтроля фитопатогенов.

**Научная новизна** – получены новые данные относительно агробиотехнологически ценных штаммов рода *Streptomyces*, которые перспективны для дальнейшего изучения как в лабораторных, так и полевых условиях с целью их практического применения в сельском хозяйстве.

**Материал и методы.** Объектом исследования служили 13 бактериальных штаммов рода *Streptomyces*, выделенных ранее из почвы (*Streptomyces* spp. 3N2, 3N3, 1N8, 3K9, 2K10, 1K6, 2K9, 2K1), ризосферы (*Streptomyces* spp. RSFN5, RSFK2) и ризопланы (*Streptomyces* spp. RPLN5, RPLN12, RPLN23) растений на территории Кировской области. Родовая принадлежность исследуемых штаммов установлена на основании изучения культурально-морфологических признаков согласно [11].

Исследование физиолого-биохимических свойств стрептомицетов включало определение



антагонистической и целлюлозолитической активности, устойчивости к антибиотикам и способности к синтезу индолил-3-уксусной кислоты (ИУК).

Антагонистическую активность штаммов определяли методом агаровых блоков [12]. В качестве тест-культур использовали природные изоляты фитопатогенных грибов (*Fusarium culmorum* Т-8, *F. proliferatum* АС, *Parastagonospora nodorum* TR-1 и ТС) и бактерий (*Erwinia herbicola* ≈ *Pantoea agglomerans*, *Agrobacterium tumefaciens* СТ-1), а также штамм *Clavibacter michiganensis* СММ 1519, полученный из Государственной коллекции фитопатогенных микроорганизмов ФГБНУ ВНИИФ (Большие Вяземы, Московская область). Зоны ингибирования более 20 мм, 10–20 мм и менее 10 мм рассматривали как сильное, среднее и слабое ингибирование соответственно. Тест проводили в трех повторностях.

Для оценки потенциальных экологических рисков, обусловленных антибиотикорезистентностью, у стрептомицетов определяли чувствительность к антибиотикам диско-диффузионным методом. Использовали диски (ДИ-ПЛС-50-01, НИЦФ, Санкт-Петербург) из разных групп и классов антибиотиков: β-лактамы (цефазолин 30 мкг (ЦЗ), амоксициллин 20 мкг (АКЦ)), макролиды (эритромицин 15 мкг (ЭРИ)), аминогликозиды (канамицин 30 мкг (КАН)), хлорамфеникол (левомицетин 30 мкг (ЛЕВ)), тетрациклины (тетрациклин 30 мкг (ТЕТ)), ансамицины (рифампицин 5 мкг (РИФ)) и полипептиды (бацитрацин 10 Ед (БЦ)).

Целлюлозолитическую активность штаммов исследовали на плотной питательной среде Гетчинсона ( $K_2HPO_4$  – 1; NaCl – 0,1;  $NaNO_3$  – 2,5;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,3;  $CaCl_2$  – 0,1;  $FeCl_2$  – 0,01; карбоксиметилцеллюлоза (КМЦ) – 10; агар – 20 г/л; pH = 7,2–7,3). О наличии целлюлозолитической активности судили по появлению зоны просветления около тестируемого изолята после окраски среды 0,1%-ым водным раствором Конго красного [13]. Для выявления наиболее активных штаммов рассчитывали отношение величины зоны гидролиза к ширине роста культуры стрептомицета [14].

Способность к продукции индолил-3-уксусной кислоты (ИУК) определяли по качественной реакции водного раствора экзометаболитов с реактивом Сальковского (2 мл 0,5 М раствора  $FeCl_3$ , 100 мл 37%-й  $HClO_4$ ) [15]. Изменение окраски от бледно-розового до насыщенно-малинового свидетельствовало о

продукции ИУК и ее производных исследуемыми изолятами. Культивирование штаммов осуществляли на среде Чапека ( $K_2HPO_4$  – 1; KCl – 0,5;  $NaNO_3$  – 2,0;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,5;  $FeSO_4$  – 0,01; сахароза – 30 г/л) с триптофаном (0,2 г/л) в течение 5 сут. Культуральную жидкость, которая содержала комплекс экзометаболитов, отделяли от биомассы центрифугированием и подвергали анализу.

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы *Microsoft Excel*. Различия определяли с помощью однофакторного дисперсионного анализа (ANOVA), средние значения сравнивали с помощью критерия наименьших значимых различий (LSD) на 5%-ном уровне значимости. Повторность опытов трехкратная.

Помимо изучения физиолого-биохимических свойств, проводили молекулярно-генетический анализ исследуемых стрептомицетов: методом ПЦР определяли наличие генов поликетид-синтаз типа II (PKSII) и целлюлаз семейства GH74 как маркеров, связанных с антагонистической активностью бактерий. Для выявления указанных генов были разработаны следующие пары праймеров, которые синтезировали в НПК «Синтол» (г. Москва) (табл. 1).

Суммарные нуклеиновые кислоты выделяли из культур, предварительно выращенных в жидкой среде Гаузе 1 (крахмал – 20;  $K_2HPO_4$  – 0,5;  $MgSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,5;  $KNO_3$  – 1,0; NaCl – 0,5;  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  – 0,01; агар-агар – 20 г/л; pH – 7,2–7,4), согласно методике [16]. Реакционная смесь (10 мкл) содержала 1 нг ДНК, 200 мкМ dNTPs, 10 рМ каждого праймера, 1×PCR-буфер и 3,75 ед. Taq-полимеразы («СибЭнзим», Россия). ПЦР проводили на программируемом термостате ТП4-ПЦР-01 «Терцик» («НПО ДНК-Технология», Россия) при следующем режиме: 1 цикл 95 °C – 5 мин, 35 циклов 95 °C – 30 сек, T отжига °C (согласно табл. 1) – 30 сек, 72 °C – 1 мин 30 сек, 1 цикл 72 °C – 8 мин. Продукты реакции разделяли методом электрофореза в полиакриламидном (ПААГ) и агарозном гелях, которые окрашивали бромистым этидием [16]. Для анализа ПЦР-продуктов, полученных при амплификации с праймерами PKSII F1/PKSII R1 и GH74 F1/GH74 R1, использовали 2%-й агарозный гель, при использовании пар праймеров PKSII F2/PKSII R2 и GH74 F2/GH74 R2 – 7% ПААГ. Для визуализации результатов электрофореза использовали трансиллюминатор «Квант-312» (Helicon, Россия). Определение размера амплифицированных фрагментов осуществляли с помощью ПО Gel Analyzer.23.1.1.



Таблица 1 – Характеристики праймеров для ПЦР-анализа стрептомицетов /  
Table 1 – Characteristics of primers to PCR analysis of streptomycetes

Мишени / Targets	Последовательности праймеров, 5'-3' / Sequences of primers, 5'-3'	Т отжига, °C / Annealing temperature, °C	ПЦР-продукт, п.н. / PCR product, bp.
PKS type II	PKSIIF1: GC(C\G)TGCTTCGA(C\T)GC(C\G)ATC' PKSIIR1: CAT(C\G)GA(C\T)TTGAT(G\C)GAGCTGA	67	414
	PKSIIF2: CCACATGAC(C\G)GG(A/T/C)CTGCG PKSIIR2: GTCGTTCTGC(T/C)(T/G)GGTGCC	55	220
	PKSIIF3: ACCCGCAACGGCTTCGTCC PKSIIR3: CGACTTGATGGAGCTGACGG	57	115
Cellulases of GH74 family	GH74F1: GCTGGGACGACTGGAACCT GH74R1: GCCTGGATCCACCAGCCGA	55	890
	GH74F2: GTTCGGCTGGTGGATCCAG GH74R2: GTGGTACATCACGCCGATGTC	72	216

**Результаты и их обсуждение.** Бактерии рода *Streptomyces* и их метаболиты обладают значительным потенциалом для использования в качестве агентов биоконтроля различных грибковых и бактериальных фитопатогенов [10].

Для оценки биоконтрольных свойств исследуемых штаммов стрептомицетов изучали их способность проявлять антагонизм к тест-культурам грибов и бактерий (табл. 2).

Таблица 2 – Зоны ингибирования роста тест-культур грибов и бактерий исследуемыми стрептомицетами, мм /  
Table 2 – Zones of inhibition of test cultures of fungi and bacteria by the studied streptomycetes strains, mm

Штамм / Strain	Тест-культуры фитопатогенов / Test cultures of phytopathogens						
	мицелиальные грибы / mycelial fungi				бактерии / bacteria		
	<i>F. culmorum</i> T-8	<i>F. proliferatum</i> AC	<i>P. nodorum</i> TR-1	<i>P. nodorum</i> TC	<i>E. herbicola</i>	<i>C. michiganensis</i> CMM 1519	<i>A. tumefaciens</i> CT-1
RSFK2	0	0	18±1 <sup>ab</sup>	0	0	29±3 <sup>b</sup>	0
RSFN5	0	0	0	0	0	–	–
RPLN5	0	0	0	0	0	–	–
RPLN12	0	0	21±2 <sup>bc</sup>	0	0	0	0
RPLN23	24±3 <sup>c</sup>	0	30±3 <sup>d</sup>	24±2 <sup>a</sup>	0	–	–
1K6	0	0	15±2 <sup>a</sup>	0	0	0	0
3K9	0	21±2 <sup>b</sup>	31±3 <sup>d</sup>	0	0	22±2 <sup>a</sup>	0
1N8	0	22±2 <sup>b</sup>	31±3 <sup>d</sup>	23±2 <sup>a</sup>	0	–	–
3N2	11±1 <sup>a</sup>	16±1 <sup>a</sup>	22±2 <sup>c</sup>	0	26±3	0	0
3N3	15±1 <sup>a</sup>	0	20±2 <sup>bc</sup>	0	0	39±3 <sup>c</sup>	0
2K1	20±2 <sup>b</sup>	22±2 <sup>b</sup>	0	0	0	0	0
2K9	0	0	29±3 <sup>d</sup>	25±2 <sup>a</sup>	0	–	–
2K10	0	45±3 <sup>c</sup>	22±2 <sup>c</sup>	0	0	26±3 <sup>ab</sup>	0

Примечание: «–» – нет данных; одинаковыми буквами в столбцах отмечены существенно не различающиеся ( $p < 0,05$ ) значения / Note: «–» – No data; the same letters in the columns mark the values, which are not significantly different ( $p < 0.05$ )

Наибольшая антифунгальная активность выявлена у штаммов стрептомицетов RPLN23, 1N8, 3K9 и 3N2, которые ингибировали рост трех тест-культур фитопатогенных грибов как представителей рода *Fusarium*, (вызывающих гнили и увядания различных сельскохо-

зяйственных культур), так и возбудителя септориоза пшеницы (*P. nodorum*). Не проявили антагонизма к исследуемым грибам два штамма (*Streptomyces* spp. RSFN5 и RPLN5). Остальные стрептомицеты ингибировали рост 1-2 использованных в работе тест-культур грибов. Высокий

уровень антагонизма (диаметр зоны ингибирования 45 мм) в отношении патогена *F. proliferatum* AC был установлен для штамма *Streptomyces* sp. 2K10, в отношении гриба *P. nodorum* TR-1 (диаметр зон ингибирования  $\geq 30$  мм) – у штаммов RPLN23, 3K9 и 1N8.

Ранее было выявлено, что антагонистическим действием на *F. proliferatum* AC обладает штамм *Streptomyces* sp. 2K1 за счет продукции им летучих органических соединений, которые более чем в 2 раза снижают скорость радиального роста культуры *F. proliferatum* AC [17]. Согласно данным прямого антагонизма культур стрептомицетов 2K1 и 2K10 к патогену *F. proliferatum* AC, диаметр зоны ингибирования роста *F. proliferatum* штаммом 2K10 ( $45 \pm 0$  мм) в два раза превышает этот показатель, установленный для штамма 2K1 ( $22,0 \pm 2,8$  мм).

Исследуемые штаммы практически не вызывали ингибирования роста грамотрицательных бактерий (*E. herbicola* и *A. tumefaciens*) (табл. 2). Только штамм 3N2 проявил антагонизм к бактерии *E. herbicola*, для патогенных штаммов которой сообщается о способности вызывать заболевания у различных растений [18]. В то же время для ряда штаммов (RSFK2, 3K9, 3N3, 2K10) установлен антагонизм в отношении грамположительной фитопатогенной бактерии *C. michiganensis* CMM 1519. Штамм *Streptomyces* sp. 3N3 характеризуется высоким уровнем антагонизма к фитопатогенной бактерии *C. michiganensis* CMM 1519 (диаметр зоны ингибирования 39 мм) в сочетании с антифунгальной активностью к *F. culmorum* T-8 и *P. nodorum* TR-1 (диаметр зон ингибирования 15 и 20 мм соответственно).

Одним из механизмов, обуславливающих антагонизм стрептомицетов к другим бактериям, является синтез антибиотиков, которые в естественных микробных сообществах служат средством сигналинга, коммуникации и конкурентной защиты [19, 20]. Известно, что продукция метаболитов в значительной степени зависит от условий среды, более того стрептомицеты часто прекращают синтез вторичных метаболитов *in vitro* [21]. В связи с этим преимущество для скрининга ценных штаммов приобретают молекулярно-генетические методы анализа [22]. Гены поликетид-синтаз (PKS) связаны с синтезом антибиотиков, проявляющих антибактериальную, противогрибковую, противовирусную активность.

С целью обнаружения среди исследуемых штаммов *Streptomyces* spp. продуцентов антибиотиков проводили молекулярно-генети-

ческий анализ, включающий выявление в геноме генов PKS. Ввиду высокого полиморфизма нуклеотидных последовательностей генов PKS использовали три пары праймеров (табл. 1), разработанных к консервативным участкам кетосинтазных доменов ферментативных комплексов PKS типа II. В результате локус-специфичной ПЦР с парой праймеров PKSIF1/PKSIR1 в геномах штаммов *Streptomyces* spp. 2K1, 2K9, 2K10, 3N2, RSFN5 (рис. 1, А) и RPLN12 (рис. 1, В) обнаружен целевой ампликон (414 п.н.), что соответствует предварительным расчетам.

У стрептомицета RSFN5 также выявлен ПЦР-продукт размером 524 п.н. (рис. 1, А), свидетельствующий, вероятно, о наличии дополнительного фрагмента гена PKSII.

В ходе ПЦР с праймерами PKSIF2/PKSIR2 у двух штаммов (2K10, RPLN23) обнаружены ампликоны (229 п.н.), близкие по размеру к целевому (220 п.н.) (рис. 2).

У штамма RPLN5 также выявлен ампликон 291 п.н. При использовании праймеров PKSIF3/PKSIR3 ни у одного из штаммов не было получено ПЦР-продуктов.

Согласно данным генетических исследований, для стрептомицетов характерна высокая степень вариабельности кластеров генов, связанных с синтезом вторичных метаболитов, которая может быть обусловлена дубликацией и горизонтальным переносом генов [21]. Выявление у исследованных штаммов стрептомицетов генов PKS позволяет рассматривать их в качестве потенциальных продуцентов ценных метаболитов. Представляется целесообразным продолжить исследования, направленные на изучение биосинтетических генных кластеров данных штаммов.

Значительный интерес для дальнейшего изучения представляет штамм *Streptomyces* sp. 2K10, у которого высокий уровень антагонистической активности в отношении *F. proliferatum* AC и *C. michiganensis* сочетается с наличием в геноме двух фрагментов гена PKSII (229 и 414 п.н.).

Продукция антибиотиков различных химических классов имеет важнейшее значение для ингибирующей активности микробов-антагонистов фитопатогенов [23]. Но в то же время микроорганизмы, и стрептомицеты в частности, обладают устойчивостью к антибиотикам, которая в настоящее время рассматривается в качестве фактора формирования и функционирования природных микробных популяций [24].

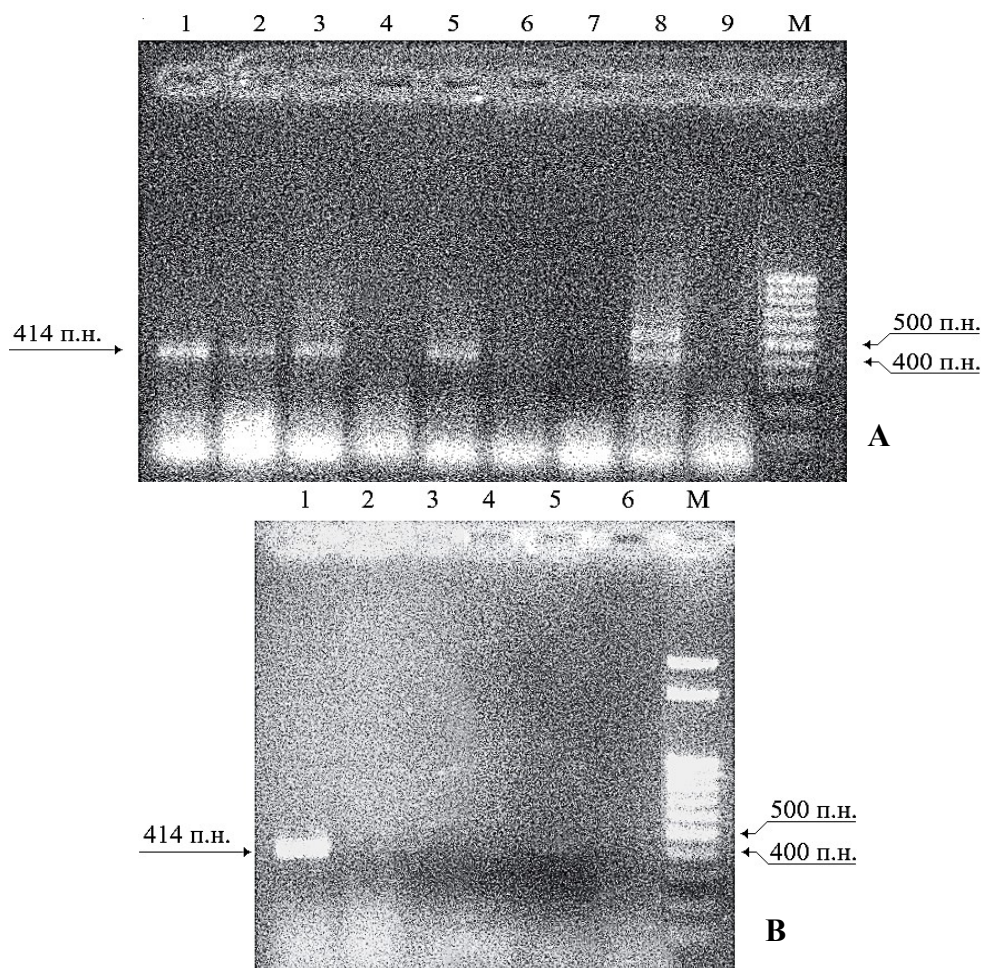


Рис. 1. Электрофореграммы продуктов амплификации последовательностей гена PKSII стрептомицетов при использовании праймеров PKSIIIF1/PKSIIR1. Дорожки М – маркеры молекулярной массы. Номера дорожек соответствуют ДНК штаммов – А: 1 – 2K1, 2 – 2K9, 3 – 2K10, 4 – 3K9, 5 – 3N2, 6 – 3N3, 7 – RSFK2, 8 – RSFN5, 9 – отрицательный контроль (вода); В: 1 – RPLN12, 2 – RPLN5, 3 – RPLN23, 4 – 1K6, 5 – 1N8, 6 – отрицательный контроль (вода) /

Fig. 1. Electrophoregrams of streptomycetes PKSII gene sequence amplification products using PKSIIIF1/ PKSIIR1 primers. The M tracks are markers of molecular weight. The number of tracks correspond to the DNA of the strains – A: 1 – 2K1, 2 – 2K9, 3 – 2K10, 4 – 3K9, 5 – 3N2, 6 – 3N3, 7 – RSFK2, 8 – RSFN5, 9 – negative control (water); B: 1 – RPLN12, 2 – RPLN5, 3 – RPLN23, 4 – 1K6, 5 – 1N8, 6 – negative control (water)

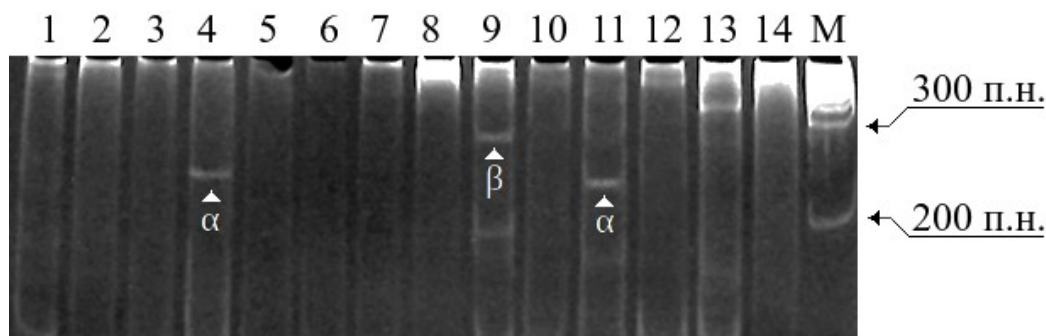


Рис. 2. Электрофореграмма продуктов амплификации последовательностей гена PKS типа II стрептомицетов при использовании пары праймеров PKSIIIF2/PKSIIR2. Номера дорожек соответствуют ДНК штаммов: 1 – 1K6; 2 – 2K1; 3 – 2K9; 4 – 2K10; 5 – 3K9; 6 – 1N8; 7 – 3N2; 8 – 3N3; 9 – RPLN5; 10 – RPLN12; 11 – RPLN23; 12 – RSFK2; 13 – RSFN5. Дорожка 14 – отрицательный контроль (вода); дорожка М – маркеры молекулярной массы; ▲ – ампликоны α (229 п.н.) и β (291 п.н.), близкие по размеру к ожидаемому /

Fig. 2. Electrophoregram of the amplification products of streptomycetes type II PKS gene sequences using primer pair PKSIIIF2/PKSIIR2. The track numbers correspond to the DNA of the strains: 1 – 1K6; 2 – 2K1; 3 – 2K9; 4 – 2K10; 5 – 3K9; 6 – 1N8; 7 – 3N2; 8 – 3N3; 9 – RPLN5; 10 – RPLN12; 11 – RPLN23; 12 – RSFK2; 13 – RSFN5. Track 14 – negative control (water); track M – molecular weight markers; ▲ – amplicons α (229 bp) and β (291 bp), close in size to the expected

Резистентность к антибиотикам вызывает опасения при использовании стрептомицетов в качестве биопрепаратов в сельском хозяйстве в связи с риском распространения генов устойчивости к антибиотикам в природных популяциях бактерий [2, 25]. Таким образом, наличие широкого спектра устойчивости к антибио-

тикам нежелательно для штаммов, которые используются для биоконтроля фитопатогенов. В работе изучали устойчивость стрептомицетов к антибиотикам разных классов и механизмов действия: величина зон ингибирования стрептомицетов восьмью исследуемыми антибиотиками изменялась от 0 до 50 мм (табл. 3).

Таблица 3 – Чувствительность штаммов *Streptomyces* spp. к антибиотикам (зоны ингибирования, мм) / Table 3 – Sensitivity of *Streptomyces* spp. strains to antibiotics (inhibition zones, mm)

Штамм / Strain	РИФ / Rifampicin	АКЦ / Amoxicillin	ЦЗ / Cefazolin	ТЕТ / Tetracyclin	КАН / Kanamycin	ЛЕВ / Levomycetin	БЦ / Bacitracin	ЭРИ / Erythromycin
RSFK2	20±2 <sup>c</sup>	0	0	35±3 <sup>g</sup>	31±3 <sup>bc</sup>	35±3 <sup>f</sup>	18±1 <sup>cd</sup>	0
RSFN5	25±2 <sup>d</sup>	27±2 <sup>c</sup>	14±1 <sup>a</sup>	18±1 <sup>cde</sup>	35±3 <sup>cde</sup>	13±1 <sup>bc</sup>	24±3 <sup>ef</sup>	27±3 <sup>b</sup>
RPLN5	9±1 <sup>a</sup>	20±2 <sup>a</sup>	16±1 <sup>a</sup>	0	41±3 <sup>ef</sup>	29±2 <sup>c</sup>	7±1 <sup>a</sup>	40±3 <sup>c</sup>
RPLN12	20±2 <sup>c</sup>	0	0	25±3 <sup>f</sup>	51±5 <sup>h</sup>	40±4 <sup>g</sup>	30±3 <sup>g</sup>	42±4 <sup>c</sup>
RPLN23	15±1 <sup>b</sup>	0	0	18±1 <sup>cde</sup>	45±5 <sup>fg</sup>	15±1 <sup>c</sup>	20±2 <sup>d</sup>	44±4 <sup>c</sup>
1K6	30±2 <sup>c</sup>	0	16±1 <sup>a</sup>	50±5 <sup>h</sup>	31±2 <sup>bc</sup>	13±1 <sup>bc</sup>	44±3 <sup>i</sup>	17±1 <sup>a</sup>
3K9	0	0	20±2 <sup>b</sup>	17±1 <sup>cd</sup>	50±4 <sup>gh</sup>	0	37±3 <sup>h</sup>	31±2 <sup>b</sup>
1N8	0	22±2 <sup>ab</sup>	0	26±2 <sup>f</sup>	35±3 <sup>cde</sup>	12±1 <sup>bc</sup>	25±2 <sup>f</sup>	30±2 <sup>b</sup>
3N2	10±1 <sup>a</sup>	24±2 <sup>bc</sup>	0	20±2 <sup>de</sup>	39±4 <sup>de</sup>	30±2 <sup>c</sup>	20±2 <sup>d</sup>	41±3 <sup>c</sup>
3N3	24±2 <sup>d</sup>	0	21±2 <sup>b</sup>	10±1 <sup>a</sup>	34±3 <sup>bcd</sup>	11±1 <sup>ab</sup>	21±2 <sup>de</sup>	20±2 <sup>a</sup>
2K1	19±2 <sup>c</sup>	0	0	21±2 <sup>c</sup>	22±2 <sup>a</sup>	0	14±1 <sup>b</sup>	0
2K9	24±2 <sup>d</sup>	0	0	16±1 <sup>b</sup>	20±2 <sup>a</sup>	9±1 <sup>a</sup>	0	0
2K10	30±2 <sup>c</sup>	0	0	21±2 <sup>c</sup>	29±3 <sup>b</sup>	25±2 <sup>d</sup>	15±1 <sup>bc</sup>	0

Примечание: одинаковыми буквами в столбцах отмечены существенно не различающиеся ( $p < 0,05$ ) значения / Note: the same letters in the columns mark the values, which are not significantly different ( $p < 0.05$ )

Значительная доля (85 %) исследуемых штаммов характеризовалась устойчивостью к β-лактамам: у девяти штаммов выявлена устойчивость к амоксициллину; у восьми – к цефазолину. Наиболее широким спектром устойчивости к антибиотикам обладали штаммы *Streptomyces* spp. 2K1 и 2K9, которые характеризовались резистентностью к четырём из восьми использованным в работе антибиотиков, относящихся к трем группам. Поэтому для дальнейших исследований интерес представляют собственно их метаболиты, но не сами бактерии.

В целом большинство стрептомицетов проявили чувствительность к использованным в работе антибиотикам, за исключением β-лактамов. Стрептомицеты характеризовались высоким уровнем чувствительности к аминогликозидам, тетрациклину, полипептидам, хлорамфениколам и ансамицинам. Все исследуемые штаммы были чувствительны к канамицину. Значительная доля штаммов обладала чувствительностью к рифампицину (85 %) и эритромицину (69 %). Штамм RSFN5 был чувствителен ко всем изучаемым антибиотикам, резистентностью к 1-2 антибиотикам харак-

теризовалось 54 % (RPLN5, RPLN12, RPLN23, 1K6, 1N8, 3N2, 3N3) исследуемых штаммов. Таким образом, полученные данные свидетельствуют об отсутствии значительных экологических рисков, связанных с распространением устойчивости к антибиотикам, в случае использования данных штаммов в окружающей среде.

У стрептомицетов изучали также целлюлозолитическую активность. Продукция целлюлазы рассматривается в качестве ценного свойства для бактерий, при этом разложение целлюлозы связано и с биоконтрольными функциями микроорганизмов. Стрептомицеты могут служить основой для создания почвоулучшающих препаратов, способствующих быстрому разложению растительных остатков и сокращению пула почвенных инфекций в агроценозах [26]. Известно также, что синтезирующие целлюлазы стрептомицеты способны осуществлять биоконтроль таких патогенов, как *Phytophthora* sp. и *Pythium* sp., клеточная стенка которых содержит 17–25 % целлюлозы [27, 28].

Изучение целлюлозолитической активности стрептомицетов в тесте с Конго красным показало, что все штаммы (за исключением



*Streptomyces* sp. RPLN23) в разной мере способны утилизировать КМЦ (рис. 3). Наибольшую активность проявил штамм *Streptomyces* sp. 3K9,

а также штаммы RPLN12, 2K9, у которых соотношение зоны гидролиза КМЦ к зоне роста варьировало от 7,3 до 9,3.

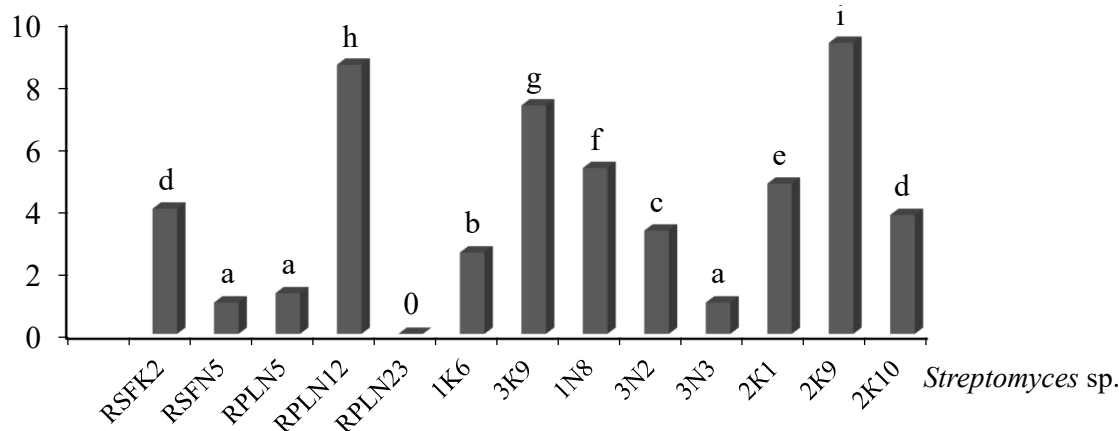


Рис. 3. Соотношение ширины зон деструкции КМЦ и роста стрептомицета (одинаковыми буквами на графике отмечены существенно не различающиеся ( $p < 0,05$ ) значения) /

Fig. 3. The ratio of the width of the zones of CMC destruction and streptomycete growth (the same letters on the graph indicate values that are not significantly different ( $p < 0.05$ ))

Известно, что для стрептомицетов характерно значительное разнообразие генов, кодирующих ферменты, действующие на различных этапах разложения целлюлозы [29]. Среди них наибольший интерес вызывают гликозил-гидролазы (glycoside hydrolase – GH), которые катализируют гидролиз гликозидных связей в молекулах углеводов, приводя к появлению более низкомолекулярных углеводов. Установлено, что отсутствие генов гликозил-гидролаз, принадлежащих к семействам GH9–GH12, GH48 и GH74, оказывает существенное влияние

на способность штаммов стрептомицетов разлагать целлюлозу [30].

В работе осуществляли поиск у стрептомицетов генов гликозил-гидролаз семейства GH74 с помощью ПЦР-анализа со специфичными праймерами (табл. 1). У штамма RSFN5 обнаружены ампликоны, близкие по размеру к ожидаемым как при использовании праймеров GH74F1/GH74R1 (длина ампликона согласно Gel Analyzer 900 п.н.), так и праймеров GH74F2/GH74R2 (ампликон 214 п.н.) (рис. 4 и 5 соответственно).

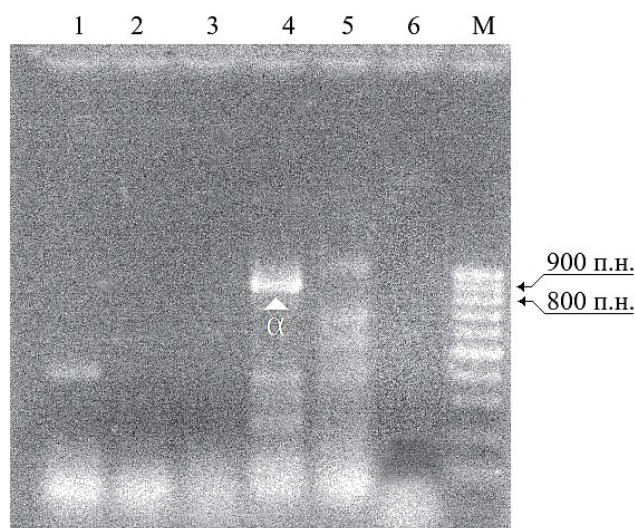


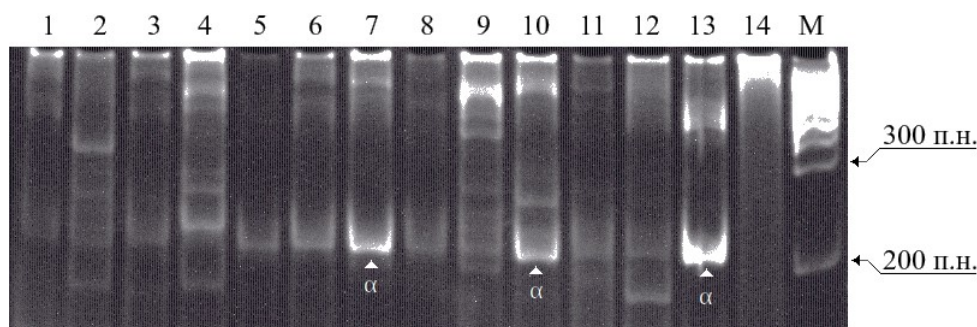
Рис. 4. Электрофореграмма продуктов амплификации последовательностей гена целлюлазы при использовании праймеров GH74F1/GH74R1. Номера дорожек соответствуют ДНК штаммов: 1 – RPLN5; 2 – RPLN12; 3 – RPLN23; 4 – RSFN5; 5 – RSFK2; 6 – отрицательный контроль (вода); дорожка М – маркеры молекулярной массы; ▲ а – ампликон, близкий по размеру к ожидаемому (890 п.н.) /

Fig. 4. Electrophoregram of the products of amplification of cellulase gene sequences using GH74F1/GH74R1 primers. The track numbers correspond to the DNA of the strains: 1 – RPLN5; 2 – RPLN12; 3 – RPLN23; 4 – RSFN5; 5 – RSFK2; 6 – negative control (water); track M – molecular weight markers; ▲ a – amplicon, close in size to the expected (890 bp)



Целевой ампликон (216 п.н.) был получен у стрептомицета 3N2, близкий по размеру ампликон (210 п.н.) выявлен у штамма RPLN12 в ходе амплификации с парой праймеров GH74F2/GH74R2 (рис. 5). Наличие дополнительных ПЦР-продуктов в реакциях с использованными праймерами может свидетельствовать об изменении длины как самого белка, так и гена. По данным литературы, набор гликозил-гидролаз у микроорганизмов зависит от их

экологической ниши и может отличаться даже у штаммов одного вида: эти гены часто подвержены дупликациям, элиминации и горизонтальному переносу [31]. Для повышения эффективности ПЦР-скрининга целлюлозолитических штаммов стрептомицетов, ввиду разнообразия генов целлюлаз и их вариабельности, целесообразным представляется разработка ДНК-мишени, связанной с регуляцией транскрипции данных генов.



**Рис. 5.** Электрофореграмма продуктов амплификации последовательностей гена целлюлазы при использовании пар праймеров GH74F2/GH74R2. Номера дорожек соответствуют ДНК штаммов: 1 – 1K6; 2 – 2K1; 3 – 2K9; 4 – 2K10; 5 – 3K9; 6 – 1N8; 7 – 3N2; 8 – 3N3; 9 – RPLN5; 10 – RPLN12; 11 – RPLN23; 12 – RSFK2; 13 – RSFN5. Дорожка 14 – отрицательный контроль (вода); дорожка M – маркеры молекулярной массы; ▲ α – ампликоны, близкие по размеру к ожидаемому (216 п.н.) /

**Fig. 5.** Electrophoregram of the products of amplification of cellulase gene sequences in a 7% polyacrylamide gel using pairs of GH74F2/GH74R2 primers. The track numbers correspond to the DNA of the strains: 1 – 1K6; 2 – 2K1; 3 – 2K9; 4 – 2K10; 5 – 3K9; 6 – 1N8; 7 – 3N2; 8 – 3N3; 9 – RPLN5; 10 – RPLN12; 11 – RPLN23; 12 – RSFK2; 13 – RSFN5. Track 14 – negative control (water); track M – molecular weight markers; ▲ α – amplicons close in size to the expected (216 bp)

Более эффективному биоконтролю фитопатогенов способствуют также RGPB-свойства стрептомицетов [7]. Как и другие бактерии, *Streptomyces* spp. могут стимулировать рост растений и повышать урожайность, увеличивая доступность питательных веществ или выделяя регуляторы роста. Для оценки RGPB-свойств исследуемых штаммов изучали их способность синтезировать ИУК. По результатам проведенных исследований способность к синтезу ИУК была обнаружена у трех стрептомицетов, выделенных из ризопланы (*Streptomyces* spp. RPLN5 и RPLN23) и почвы (*Streptomyces* sp. 1K6).

Известно, что продукция стрептомицетами данного фитогормона способствует стимуляции роста различных видов растений посредством активизации деления и элонгации клеток, приводя к увеличению биомассы побегов и корней [3, 8, 32]. При этом ИУК также может выступать в качестве молекулы-предшественника для синтеза фермента синтазы АЦК (аминоциклопропан-1-карбоксилановой кислоты), необходимой в свою очередь для синтеза этилена, который участвует в формировании адаптивных ответов растений на биотические и абиотические стрессовые факторы.

Среди изученных стрептомицетов штамм RPLN23, обладающий антифунгальной активностью (диаметр зон ингибирования 24–30 мм), характеризующийся наличием генов PKSII (229 п.н.) и способностью синтезировать ИУК, является наиболее перспективным с точки зрения дальнейшего изучения в качестве агента биоконтроля. Штаммы RPLN5 и 1K6, для которых также установлена способность продуцировать ИУК, требуют исследования их антагонистической активности к другим фитопатогенам.

**Заключение.** В ходе проведенных исследований установлено, что штаммы стрептомицетов, выделенные из почвы, ризосферы и ризопланы растений на территории Кировской области, в большей степени обладают антифунгальной, чем антибактериальной активностью, что совпадает с результатами предыдущих исследований [26, 33, 34]. При этом более высокую антагонистическую активность наблюдали в отношении гриба *P. nodorum*, чем тест-культур рода *Fusarium*. Штаммы *Streptomyces* spp. RPLN23, 1N8 и 3K9, способные эффективно ингибировать рост гриба возбудителя септориоза пшеницы, включая высокопатогенный местный штамм *P. nodorum* ТС, перспективны для

изучения их антагонистического действия на данный патоген в полевых условиях.

В работе не было установлено связи между антифунгальной и целлюлозолитической активностями (способностью разлагать КМЦ и наличием генов GH74). В то же время выявлены штаммы, способные к эффективной деструкции КМЦ (RPLN12, 2K9 и 3K9), и штаммы, имеющие в геноме гены, кодирующие целлюлазы семейства GH74 (RSFN5, RPLN12, 3N2). Исследования данных штаммов *Streptomyces* spp. будут продолжены в отношении их способности к деструкции других субстратов, т. к. целлюлозолитический потенциал данных бактерий представляет интерес с точки зрения стабилизации фитосанитарного состояния агроценозов. Согласно данным, полученным в работе [26], совместное культивирование штаммов рода *Streptomyces* может синэргетически влиять на уровень целлюлазной и антагонистической активности по отношению к грибным фитопатогенам. В связи с этим планируется оценить возможность создания эффективных комбинаций исследуемых штаммов стрептомицетов.

ПЦР-скрининг представляет собой дополнительный инструмент для оценки биосинтетического потенциала стрептомицетов. Результаты

ПЦР позволили выявить у штаммов *Streptomyces* spp. (RSFN5, RPLN5), не проявивших антагонизма к исследуемым культурам грибов и бактерий, гены PKSII и GH74. Обнаружение у некоторых штаммов ампликонов, отличных по размеру от ожидаемого, также может свидетельствовать об обнаружении фрагментов исследуемых генов, однако требует более глубоких исследований. Дальнейшую работу в этом направлении планируется сосредоточить на расширении количества выявляемых ДНК-мишеней, связанных как с функцией биоконтроля (гены хитиназ), продукцией вторичных метаболитов (гены нерибосомных пептидсинтаз (NRPS)), так и разложением целлюлозы (регулятор транскрипции CebR).

Результаты текущего исследования дополняют имеющиеся данные о потенциале стрептомицетов для их использования в сельском хозяйстве. Изучение этой группы микроорганизмов не теряет своей актуальности, а новые данные, полученные с использованием современных методов биологии, позволяют детальнее исследовать заложенные в генотипе возможности, связанные с продукцией ценных метаболитов и ферментов.

#### References

1. Максимов И. В., Абизгильдина Р. Р., Пусенкова Л. И. Стимулирующие рост растений микроорганизмы как альтернатива химическим средствам защиты от патогенов (обзор). Прикладная биохимия и микробиология. 2011;47(4):373–385. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16553165> EDN: NYGBHX
2. Maksimov I. V., Abizgil'dina R. R., Pusenkova L. I. Plant growth promoting rhizobacteria as alternative to chemical crop protectors from pathogens (review). *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2011;47(4):373–385. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=16553165>
3. Rey T., Dumas B. Plenty is no plague: *Streptomyces* symbiosis with crops. *Trends in plant science*. 2017;22(1):30–37. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.10.008>
4. Vurukonda S. S. K. P., Giovanardi D., Stefani E. Plant growth promoting and biocontrol activity of *Streptomyces* spp. as endophytes. *International Journal of Molecular Sciences*. 2018;19(4):952. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijms19040952>
5. Moumbock A. F. A., Gao M., Qaseem A., Li J., Kirchner P. A., Ndingkokhar B., et al. StreptomeDB 3.0: an updated compendium of streptomycetes natural products. *Nucleic acids research*. 2021;49(D1):D600–D604. DOI: <https://doi.org/10.1093/nar/gkaa868>
6. Gowdar S. B., Deepa H., Amaresh Y. S. A brief review on biocontrol potential and PGPR traits of *Streptomyces* sp. for the management of plant diseases. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2018;7(5):03–07. URL: <https://www.phytojournal.com/archives/2018/vol7issue5/PartA/7-3-57-816.pdf>
7. Hwang K. S., Kim H. U., Charusanti P., Palsson B. Ø., Lee S. Y. Systems biology and biotechnology of *Streptomyces* species for the production of secondary metabolites. *Biotechnology Advances*. 2014;32(2):255–268. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2013.10.008>
8. Olanrewaju O. S., Babalola O. O. *Streptomyces*: implications and interactions in plant growth promotion. *Applied Microbiology and Biotechnology*. 2019;103(3):1179–1188. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00253-018-09577-y>
9. Sousa J. A. J., Olivares F. L. Plant growth promotion by streptomycetes: ecophysiology, mechanisms and applications. *Chemical and Biological Technologies in Agriculture*. 2016;3:24. DOI: <https://doi.org/10.1186/s40538-016-0073-5>
10. Al-Quwaie D. A. The role of *Streptomyces* species in controlling plant diseases: a comprehensive review. *Australasian Plant Pathology*. 2024;53(1):1–14. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13313-023-00959-z>
11. Vurukonda S. S. K. P., Giovanardi D., Stefani E. Growth promotion and biocontrol activity of endophytic *Streptomyces* spp. In: Giampietro L., (ed.) *Prime archives in Molecular Sciences*, 2nd edition. Hyderabad: Vide Leaf; 2021. 55 p. DOI: <https://doi.org/10.37247/PAMOL2ED.2.2021.20>
12. Гаузе Г. Ф., Преображенская Т. П., Свешникова М. А., Терехова Л. П., Максимова Т. С. Определитель актиномицетов: Роды *Streptomyces*, *Streptoverticillium*, *Chainia*. М.: Наука, 1983. 248 с.

- Gauze G. F., Preobrazhenskaya T. P., Sveshnikova M. A., Terekhova L. P., Maksimova T. S. Actinomycetes indicator: genii *Streptomyces*, *Streptovorticillium*, *Chainia*. Moscow: Nauka, 1983. 248 p.
12. Егоров Н. С. Основы учения об антибиотиках. М.: Высшая школа, 1979. 455 с.
- Egorov N. S. Fundamentals of the doctrine of antibiotics. Moscow: Vysshaya shkola, 1979. 455 p.
13. Teather R. M., Wood P. J. Use of Congo red-polysaccharide interaction in enumeration and characterization of cellulolytic bacteria the bovine rumen. Applied and Environmental Microbiology. 1982;43(4):777–780.  
DOI: <https://doi.org/10.1128/aem.43.4.777-780.1982>
14. Ariffin H., Abdullah N., Md Shah U. K., Shirai Y., Hassan M. A. Production and characterization of cellulase by *Bacillus pumilus* EB3. International Journal of Engineering and Technology. 2006;3(1):47–53.  
URL: <https://www.ijet.feic.org/journals/I-2006-V1005.pdf>
15. Meudt W. J., Gaines T. P. Studies on the oxidation of indole-3-acetic acid by peroxidase enzymes. Colorimetric determination of indole-3-acetic acid oxidation products. Plant Physiology. 1967;42(10):1395–1399.  
DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.42.10.1395>
16. Sambrook J., Fritsch T., Maniatis T. Molecular cloning: a laboratory manual. New York: Cold Spring Harbor Laboratory Press, 1983. 545 p. URL: <https://archive.org/details/molecularcloning0000samb/page/n3/mode/2up>
17. Petukhov D. V., Tovstik E. V., Bakulina A. V., Sazanov M. L., Burkov A. A. Soil *Streptomyces* sp. strain 2K1: phylogenetic position, effect on *Fusarium proliferatum* growth. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya* = Theoretical and Applied Ecology. 2020;(2):111–116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25750/1995-4301-2020-2-111-116> EDN: KKGIRG
18. Lorenzi A. S., Bonatelli M. L., Chia M. A., Peressim L., Quecine M. C. Opposite sides of *Pantoea agglomerans* and its associated commercial outlook. Microorganisms. 2022;10(10):2072.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/microorganisms10102072>
19. D'Costa V. M., King C. E., Kalan L., Morar M., Sung W. W., Schwarz C., et al. Antibiotic resistance is ancient. Nature. 2011;477:457–461. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10388>
20. Cytryn E. The soil resistome: the anthropogenic, the native, and the unknown. Soil Biology and Biochemistry. 2013;63:18–23. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.03.017>
21. Lee N., Hwang S., Kim J., Cho S., Palsson B., Cho B. K. Mini review: Genome mining approaches for the identification of secondary metabolite biosynthetic gene clusters in *Streptomyces*. Computational and Structural Biotechnology Journal. 2020;18:1548–1556. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csbj.2020.06.024>
22. Yuan M., Yu Y., Li H. R., Dong N., Zhang X. H. Phylogenetic diversity and biological activity of Actinobacteria isolated from the Chukchi Shelf marine sediments in the Arctic Ocean. Marine Drugs. 2014;12(3):1281–1297.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/md12031281>
23. Duffy B., Schouten A., Raaijmakers J. M. Pathogen self-defense: mechanisms to counteract microbial antagonism. Annual Review of Phytopathology. 2003;41:501–538. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.phyto.41.052002.095606>
24. Виноградова К. А., Булгакова В. Г., Полин А. Н., Кожевин П. А. Устойчивость микроорганизмов к антибиотикам: резистомы, её объём, разнообразие и развитие. Антибиотики и химиотерапия. 2013;58(5-6):38–48.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22477512> EDN: RARWVF
- Vinogradova K. A., Bulgakova V. G., Polin A. N., Kozhevnikov P. A. Microbial Antibiotic Resistance: Resistome, Its Volume, Diversity and Development. *Antibiotiki i khimioterapiya* = Antibiotics and Chemotherapy. 2013;58(5-6):38–48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=22477512>
25. Pacios-Michelena S., Aguilar González C. N., Alvarez-Perez O. B., Rodriguez-Herrera R., Chávez-González M., Arredondo Valdés R., et al. Application of *Streptomyces* antimicrobial compounds for the control of phytopathogens. Frontiers in Sustainable Food Systems. 2021;5:696518. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2021.696518>
26. Боков Н. А., Абубакирова Р. И., Широких И. Г. Изучение агрономически ценных синергетических эффектов в бинарных культурах почвенных стрептомицетов. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2023;24(5):799–809.  
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.799-809> EDN: UKWTCA
- Bokov N. A., Abubakirova R. I., Shirokikh I. G. Study of agronomically valuable synergistic effects in binary cultures of soil streptomycetes. *Agrarnaya nauka Euro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):799–809. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.799-809>
27. Lima L. H. C., De Marco J. L., Felix C. R. Enzimas hidrolíticas envolvidas no controle por micoparasitismo. In: Melo I.S., Azevedo J.L. (eds). Controle biológico. Jaguariúna: EMBRAPA-CNPMA, 1998. pp. 263–304.
28. Sakineh A., Sadeghi A., Safaie N. Biocontrol of cucumber damping-off by *Streptomyces* strains producing siderophore and cellulase under extreme condition. Journal of Microbial Biology. 2020;9(33):1–13.  
URL: [https://bjm.ui.ac.ir/article\\_24672.html](https://bjm.ui.ac.ir/article_24672.html)
29. Nikolaidis M., Hesketh A., Frangou N., Mossialos D., Van de Peer Y., Oliver S. G., Amoutzias G. D. A panoramic view of the genomic landscape of the genus *Streptomyces*. Microbial Genomics. 2023;9(6):001028.  
DOI: <https://doi.org/10.1099/mgen.0.001028>
30. Book A. J., Lewin G. R., McDonald B. R., Takasuka T. E., Wendt-Pienkowski E., Doering D. T., et al. Evolution of high cellulolytic activity in symbiotic *Streptomyces* through selection of expanded gene content and coordinated gene expression. PLoS Biology. 2016;14(6):e1002475. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.1002475>
31. Наумов Д. Г. Иерархическая классификация гликозил-гидролаз. Биохимия. 2011;76(6):764–781.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16381097> EDN: NUMDXX
- Naumov D. G. Hierarchical classification of glycoside hydrolases. *Biokhimiya*. 2011;76(6):764–781. (In Russ.).  
URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16381097>



32. Al-Tammar F. K., Khalifa A. Y. An update about plant growth promoting *Streptomyces* species. Journal of Applied Biology & Biotechnology. 2023;11(4):1–10. DOI: <https://doi.org/10.7324/JABB.2023.130126>

33. Широких И. Г., Широких А. А. Антагонизм и резистентность к антибиотикам актиномицетов из почв трех особо охраняемых природных территорий. Почвоведение. 2019;(10):1203–1210.

DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100137> EDN: IVXWVR

Shirokikh I. G., Shirokikh A. A. Antagonism and resistance to antibiotics of actinomycetes from soils of three specially protected natural territories. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(10):1203–1210. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19100137>

34. Широких И. Г., Бакулина А. В., Назарова Я. И., Широких А. А., Козлова Л. М. Влияние *Streptomyces castelarensis* A4 на заболеваемость и урожайность зерновых культур полевого севооборота. Микология и фитопатология. 2020;54(1):59–66. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026364820010080> EDN: AYAJVU

Shirokikh I. G., Bakulina A. V., Nazarova Ya. I., Shirokikh A. A., Kozlova L. M. Effect of *Streptomyces castelarensis* A4 on the lesion by phytopathogenic micromycetes and the yield of grain crops of field rotation. *Mikologiya i fitopatologiya* = Mycology and Phytopathology. 2020;54(1):59–66. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0026364820010080>

#### **Сведения об авторах**

✉ **Бакулина Анна Владимировна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, зав. лабораторией молекулярной биологии и селекции, 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5171-2476>, e-mail: [mol-biol@fanc-sv.ru](mailto:mol-biol@fanc-sv.ru)

**Товстик Евгения Владимировна**, кандидат биол. наук, доцент, научный сотрудник лаборатории биотехнологических методов селекции сельскохозяйственных растений, 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

**Бессолицына Екатерина Андреевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5582-1709>

**Новоселова Нина Владиславовна**, младший научный сотрудник лаборатории молекулярной биологии и селекции, 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>

**Жемчужина Наталья Сергеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник, заместитель заведующего государственной коллекцией фитопатогенных микроорганизмов и сортов растений-идентификаторов патогенных штаммов микроорганизмов, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт фитопатологии», ул. Институт, владение 5, р. п. Большие Вяземы, Российская Федерация, 143050, e-mail: [vniif@vniif.ru](mailto:vniif@vniif.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6374-403X>

#### **Information about the authors**

✉ **Anna V. Bakulina**, PhD in Biological science, senior researcher, Head of the Laboratory of Molecular Biology and 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5171-2476>, e-mail: [mol-biol@fanc-sv.ru](mailto:mol-biol@fanc-sv.ru)

**Evgeniya V. Tovstik**, PhD in Biological science, associate professor, researcher, the Laboratory of Biotechnological Methods of Agricultural Plant Breeding, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N.V. Rudnitsky, Lenin str., 166a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1861-6076>

**Ekaterina A. Bessolitsyna**, PhD in Biological science, senior researcher, the Laboratory of Molecular Biology and 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5582-1709>

**Nina V. Novoselova**, junior researcher, the Laboratory of Molecular Biology and 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0638-4258>

**Natalya S. Zhemchuzhina**, PhD in Biological science, senior researcher, Deputy Head of the State Collection of Phytopathogenic Microorganisms and Plant Varieties-Identifiers of Pathogenic Microorganisms, All-Russian Research Institute of Phytopathology, Institut str., possession 5, Bolshye Vyazemy settlement, Russian Federation, 143050, e-mail: [vniif@vniif.ru](mailto:vniif@vniif.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6374-403X>

✉ – Для контактов / Corresponding author

# ХРАНЕНИЕ И ПЕРЕРАБОТКА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПРОДУКЦИИ / STORAGE AND PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1050-1058>  
УДК 664.7



## Исследование химического состава безглютеновых зерновых батончиков и применение расчетного метода оценки гликемического индекса и гликемической нагрузки

© 2024. А. В. Будова✉, С. А. Урубков, С. О. Смирнов

Научно-исследовательский институт пищевконцентратной промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Московская область, Российская Федерация

При разработке продуктов питания для детей наряду с сбалансированностью состава по макро- и микро-нутриентам, наличие биологически активных минорных компонентов большую роль играют показатели переваривания, всасывания и усвоения пищевых веществ. Таким показателем является гликемический индекс (ГИ), а также величина его фактического воздействия с учетом порции продукта и содержания в ней углеводов – гликемическая нагрузка (ГН). Цель исследования – изучение химического состава безглютеновых зерновых батончиков «Морковный» и «Ягодный», разработанных на основе экспандированного зерна, и определение значений ГИ и ГН. Для исследования химического состава использовали стандартные методы, для оценки ГИ и ГН – расчетную методику, учитывающую содержание основных пищевых веществ в продукте, а также их способность влиять на значения ГИ. Установлено, что в исследуемых батончиках содержание белка в среднем составляет 5,4 г/100 г продукта, пищевых волокон – от 10,2 до 11,9 г/100 г, преимущественно растворимых – до 86,3 %. Углеводы в основном представлены крахмалом – в среднем 65,9 % от общего содержания. Содержание моно- и дисахаридов в среднем составило 17,5 %, из них 50,5 % представлены глюкозой. Исследуемые батончики имели средние значения ГИ (63 и 64) и ГН порции массой 30 г (13,6 и 14,3) несмотря на то, что в их составе на экспандированное зерно приходится до 62 %, а на крахмальную патоку до 39,6 %. Вероятно, это связано с наличием в рецептуре источников белков и пищевых волокон, которые снижают степень усвоения углеводов, что учитывается в использованной методике расчета ГИ и ГН. Таким образом, полученные данные указывают на то, что безглютеновые зерновые батончики на основе экспандированного зерна, предназначенные для детского питания в качестве безопасного перекуса, способны достаточно быстро и относительно надолго насытить организм и восстановить запасы энергии. Дополнение обязательной маркировки значениями ГИ и ГН позволит потребителю более осознанно подходить к выбору пищевых продуктов, что особенно актуально для детей с пищевыми ограничениями.

**Ключевые слова:** безглютеновая продукция, дети старше трех лет, непереносимость глютена, основные нутриенты, цифровая нутрициология, экспандированное зерно

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи» (тема № FGMP-2022-0002). Авторы благодарят рецензентов за их вклад экспертную оценку этой работы.

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Будова А. В., Урубков С. А., Смирнов С. О. Исследование химического состава безглютеновых зерновых батончиков и применение расчетного метода оценки гликемического индекса и гликемической нагрузки. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1050–1058. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1050-1058>

Поступила: 28.07.2024

Принята к публикации: 03.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024



## Study on the chemical composition of gluten-free cereal bars and application of the calculation method for assessing the glycemic index and glycemic load

© 2024. Anna V. Budova ✉, Sergey A. Urubkov, Stanislav O. Smirnov

Research Institute of Food-concentrate Industry and Special Food Technology – Branch «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», Moscow region, Russian Federation

*When developing food products for children, along with the balanced composition in terms of macro- and micronutrients, the presence of biologically active minor components, a large role is played by the indicators of digestion, absorption and assimilation of nutrients. Glycemic index (GI), as well as glycemic load (GL), which represents the value of GI actual impact taking into account the portion of the product and the content of carbohydrates in it are such indicators. The aim of the study is to study the chemical composition of the gluten-free cereal bars “Morkovnyj” and “Yagodnyj” developed on the basis of expanded grain as well as to determine the GI and GL values. Standard methods were used to study the chemical composition, and a calculation method was used to assess the GI and GL, taking into account the content of essential nutrients in the product, as well as their ability to influence the GI values. It has been established that the protein content in the studied bars averages 5.4 g/100 g of product, and the dietary fiber content ranges from 10.2 g/100 g to 11.9 g/100 g, mainly represented by soluble dietary fiber, which accounts for up to 86.3 %. Carbohydrates are mainly represented by starch - an average of 65.9 % of the total content. The content of mono- and disaccharides averages 17.5 %, of which 50.5 % is glucose. Average glycemic index values of the developed bars are 63 and 64, average glycemic load values of a 30 g portion are 13.6 and 14.3, respectively, despite the fact that in their composition expanded grain accounts up to 62 %, and starch syrup up to 39.6 %. This is probably due to the presence of protein and dietary fiber sources in the recipe, which reduce the degree of absorption of carbohydrates, which is taken into account in the used method of calculating GI and GL. Thus, the obtained data indicate that the gluten-free cereal bars based on expanded grain for children nutrition, intended as a safe snack, are capable of satiating the body quickly and for a relatively long time and restoring energy reserves. Adding mandatory labeling with GI and GN values will allow consumers to take a more informed approach to choosing food products, which is especially important for children with dietary restrictions.*

**Keywords:** gluten-free products, children over three years old, gluten intolerance, essential nutrients, digital nutrition, expanded grains

**Acknowledgments:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety (theme no. FGMF-2022-0002).

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:** Budova A. V., Urubkov S. A., Smirnov S. O. Study on the chemical composition of gluten-free cereal bars and application of the calculation method for assessing the glycemic index and glycemic load. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1050–1058. (In Russ.). <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1050-1058>

Received: 28.07.2024

Accepted for publication: 03.12.2023

Published online: 25.12.2024

Организация правильного питания детей в образовательных учреждениях является одним из важнейших направлений работы органов исполнительной власти Российской Федерации различных уровней [1].

На сегодняшний день наблюдается тенденция к ухудшению здоровья детей дошкольного и школьного возраста, в том числе рост числа заболеваний желудочно-кишечного тракта – на них приходится до 22,7 % диагностированных у детей школьного возраста [1], а также различных видов пищевой непереносимости. По данным Т. В. Мажаевой и С. Э. Дубенко, до 97,8 % детей в возрасте от 3 до 6 лет вынуждены исключить из рациона от 1 до 29 продуктов питания [2]. В частности, отмечается рост клинически подтвержденных случаев глютенчувствительных заболеваний – целиакии, нецелиакийной неаллергической непереносимости

глютена и пищевой аллергии на глютен [3, 4]. Основным способом лечения всех форм глютенчувствительных заболеваний является диетотерапия – жесткая элиминация из рациона всех продуктов питания, содержащих глютен [3, 4, 5].

Однако, несмотря на то, что за последние несколько лет рынок безглютеновой продукции показывает значительные темпы роста – по данным отечественных экспертов, ассортимент безглютеновой продукции вырос на 71 % [6], действующее законодательство в сфере закупок для государственных и муниципальных нужд, малая численность поставщиков и отсутствие строгой регуляции рынка существенно затрудняют организацию специализированного безглютенового питания детей в образовательных учреждениях [3, 6]. При этом высокая стоимость представленной на рынке безглютеновой продукции также вызывает трудности в соблю-

дении строгой безглютеновой диеты, в связи с чем в семьях, воспитывающих детей с различными формами непереносимости глютена, возникает риск снижения качества жизни, вызванный изменением пищевых привычек и образа жизни, социально-психологическими проблемами, связанными с трудностью социальной адаптации детей и подростков в обществе, а также организации быта и отдыха [5, 7].

Решением данной проблемы является расширение существующего ассортимента и доступности отечественных безглютеновых продуктов – НИИ пищевых концентратной промышленности и специальной пищевой технологии совместно с ФИЦ питания и биотехнологии ведет разработку специализированных безглютеновых зерновых батончиков для детского питания.

Продукты из зерна являются основным источником различных классов углеводов в питании населения России. Считается, в рационе питания детей содержание углеводов должно составлять 50–60 %.

Известно также, что среди детей и подростков распространено избыточное потребление углеводов, что оказывает неблагоприятное воздействие на организм, повышая риск развития избыточной массы тела [8], что в свою очередь увеличивает риск возникновения метаболических нарушений, в частности сахарного диабета 2-го типа [9]. Поэтому из рациона детей рекомендуется исключить продукты с высоким ГИ и низкой биологической ценностью.

Таблица 1 – Характеристика значений ГИ и ГН [10] /  
Table 1 – Characteristics of GI and GL values [10]

Характеристика / Characteristics	Гликемический индекс / Glycemic index	Гликемическая нагрузка / Glycemic load
Низкий ГИ/Низкая ГН / Low GI/Low GL	$\leq 55$	$\leq 10$
Средний ГИ/Средняя ГН / Moderate GI/moderate GL	$56 \leq \text{GI/GL} \leq 69$	$11 \leq \text{GI/GL} \leq 19$
Высокий ГИ/Высокая ГН / High GI/High GL	$\geq 70$	$\geq 20$

Стандартной методикой определения ГИ считается исследование *in vivo*, заключающееся в измерении уровня глюкозы в крови за определенные интервалы времени в течение двух часов после употребления порции исследуемого продукта, содержащей 50 г углеводов, натошак группой здоровых людей. В результате получается график зависимости уровня глюкозы от времени. Площадь под графиком отражает общее повышение уровня глюкозы в крови, вызванное употреблением исследуемого продукта. Далее проводят аналогичное исследо-

На этикетках продуктов обязательно указывается суммарное содержание углеводов, но не состав, что не позволяет судить о скорости их всасывания и усвоения. Продукты с высоким ГИ приводят к быстрому приливу сил и энергии за счет ускоренного расщепления и усвоения, однако способствуют образованию и депонированию подкожного жира. Продукты с низким ГИ обеспечивают длительное ощущение сытости, но недостаточно эффективны в условиях обучения и постоянной физической активности и приводят к истощению ребёнка в течение дня.

Поэтому вопрос указания на этикетке продукта значений ГИ и ГН, позволяющих судить об их физиологическом действии на организм, является актуальным.

Гликемический индекс (ГИ, GI) – это относительный показатель, отражающий способность продуктов питания повышать уровень глюкозы в крови человека после их употребления за счет содержащихся в них углеводов [8]. ГИ позволяет косвенно судить о качестве углеводов – быстрое повышение глюкозы в крови говорит о высоком содержании быстроусвояемых углеводов.

Для определения фактического гликемического воздействия конкретной порции продукта с учетом ее размера и содержания в ней углеводов рассчитывают гликемическую нагрузку (ГН, GL).

Для оценки качества продуктов питания принята следующая характеристика значений ГИ и ГН, приведенная в таблице 1.

Изменение уровня глюкозы в крови тех же испытуемых после употребления контрольного продукта – 50 г глюкозы (ГИ глюкозы равен 100). Существуют вариации методики, где в качестве контрольного продукта используют белый хлеб, содержащий 50 г крахмала. ГИ вычисляют по формуле 1 [8, 11]:

$$\text{ГИ} = \frac{S_{\text{исследуемый продукт}}}{S_{\text{контрольный продукт}}} \times 100 \quad (1)$$

где:  $S_{\text{исследуемый продукт}}$  – площадь под кривой роста уровня глюкозы при употреблении исследуемого продукта;

$S_{\text{контрольный продукт}}$  – площадь под кривой роста уровня глюкозы при употреблении контрольного продукта.

В связи с тем, что методики определения ГИ *in vivo* продолжительны по времени и дорогостоящи (так как проводятся с участием человека), был разработан ряд методик определения ГИ *in vitro*, которые основываются на обработке исследуемого продукта смесью пищеварительных ферментов с последующим нахождением глюкозы и, в некоторых методиках, ряда других сахаров или сахароспиртов. Однако методики *in vitro* подвергаются критике в связи с трудно сопоставимыми результатами, несоответствием получаемых результатов данным, полученным *in vivo*, и рекомендуются лишь для расчета ориентировочных значений ГИ [11].

Учитывая, что методы определения ГИ *in vitro* также требуют необходимого уровня материально-технического обеспечения и временных затрат, для получения ориентировочных значений ГИ в процессе разработки пищевых продуктов целесообразно применять расчетные методы.

Так, расчетный метод, разработанный А. Ритц с соавт. (А. Rytz et al.), показал высокую сходимость результатов при сравнении значений ГИ 42 продуктов из группы сухих завтраков, включающих экструдированные зерновые продукты, хлопья, гранолу, мюсли и зерновые батончики, полученных как расчетным способом, так и исследованием *in vivo* [12], а также аналогичным исследованием ГИ зерновых детских

смесей [13]. Суть метода заключается в представлении исследуемого продукта в виде суммы  $N$  нутриентов ( $N = m + n$ ), состоящего из  $m$  усваиваемых углеводов и  $n$  остальных нутриентов и неусваиваемых углеводов, где  $x_k$  – содержание в %  $k$ -того нутриента ( $k = 1 \dots N$ ), а  $\sum x_k = 100\%$ . При этом также учитывается способность некоторых нутриентов (белков, жиров, пищевых волокон и др.) влиять на усвоение углеводов за счет физиологического воздействия на работу органов желудочно-кишечного тракта, понижая тем самым интенсивность поступления глюкозы в кровь и, как следствие, ГИ [8].

На предыдущих этапах исследования были получены данные химического состава и проведена оценка биологической ценности белка применяемого экспандированного зерна, на основании которых были разработаны рецептуры изделий [14, 15].

**Цель исследований** – изучение химического состава разработанных безглютеновых зерновых батончиков, а также определение значений ГИ и ГН расчетным методом.

**Научная новизна** – получение новых данных химического состава безглютеновых зерновых батончиков и расчёт на их основе значений ГИ и ГН.

**Материалы и методы.** Объектами исследования являлись образцы безглютеновых зерновых батончиков на основе экспандированного зерна с плодоягодными компонентами, изготовленные по двум рецептурным композициям (табл. 2).

**Таблица 2 – Содержание ингредиентов исследуемых зерновых батончиков «Морковный» и «Ягодный», % / Table 2 – Ingredient compositions of studied cereal bars “Morkovnyj” and “Yagodnyj”, %**

Ингредиент / Ingredient	«Морковный» / “Morkovnyj”	«Ягодный» / “Yagodnyj”	Нормативно-техническая документация / Normative technical documentation
Экспандированное просо / Expanded millets	27,0	26,0	ТУ 9196-002-57567531-04 / Technical conditions 9196-002-57567531-04
Экспандированный амарант / Expanded amaranth	27,0	26,0	
Экструдированная кукуруза / Extruded corn	-	10,0	ТУ 10.61.33-002-57567531-04 / Technical conditions 10.61.33-002-57567531-04
Патока крахмальная карамельная / Starch molasses	39,6	31,0	ГОСТ 33917-20016 / GOST 33917-20016
Яблочный порошок / Apple powder	7,0	5,0	ТУ 9164-001-38196649-2013 / Technical conditions 9164-001-38196649-2013
Порошок смородины черной / Black currant powder	-	3,0	
Бета-каротин (E160A) / Beta-caroten	0,4	-	ООО «Ресурс Маркет», Россия / ООО «Resurs Market», Russia

Определение влаги в зерновых батончиках проводили по ГОСТ 5900-2014<sup>1</sup>; золы – ГОСТ 5901-2014<sup>2</sup>; белка – ГОСТ 26889-86<sup>3</sup>; жира – ГОСТ 23042-2015<sup>4</sup>; растворимых и нерастворимых пищевых волокон – по методике, приведенной в руководстве Р.4.1.1672-03<sup>5</sup>; профиля углеводов – методом высокоэффективной жидкостной хроматографии согласно методике, изложенной в руководстве<sup>6</sup>; содержание крахмала – расчетным методом.

Расчеты выполняли с помощью программы MS Excel. Анализы проводили в трех повторностях, относительная погрешность измерений не превышала 3 % при доверительной вероятности  $P = 0,95$ . Результаты измерений представлены как средние арифметические.

**Результаты и их обсуждение.** Применяемая методика расчёта GI и ГН учитывает способность различных классов углеводов (моно-, ди- и олигосахаридов, растворимых и нерастворимых пищевых волокон), а также негликемических нутриентов (воды, белков, жиров и общего количества минеральных веществ (золы)) влиять на уровень GI продукта.

С этой целью проведено исследование химического состава разработанных зерновых батончиков. Полученные экспериментальные данные, а также справочные значения GI различных нутриентов и коэффициента  $b_j$  представлены в таблице 3.

Установлено, что разработанные батончики содержат достаточно большое количество растительного белка – от 5,30 до 5,50 г/100 г продукта, при этом содержание жира невелико – более 1 г/100 г. Суммарное содержание пищевых волокон в батончике «Морковный» составляет 10,20 г/100 г, «Ягодный» – 11,90 г/100 г. В

Гликемический индекс (ГИ/GI) и гликемическую нагрузку (ГН/GL) рассчитывали по методике, предложенной А. Ритц с соавт. (A. Rytz et al.) [12], по формулам (2) и (3):

$$GI = \frac{\sum_{i=1}^m x_i a_i GI_i}{\sum_{i=1}^m x_i + \sum_{j=1}^n x_j b_j}, \quad (2)$$

где  $GI_i$  – GI конкретного гликемического углевода;  $x_i$  – содержание  $i$ -того гликемического углевода в продукте ( $i = 1 \dots m$ ), %;  $x_j$  – содержание  $j$ -того негликемического нутриента ( $j = 1 \dots n$ ), %;  $a_i$  – поправочный коэффициент:  $a_i = 1$  для всех гликемических углеводов, кроме крахмала; для крахмала в зависимости от его вида и происхождения  $a_i$  находится в интервале  $0 \leq a_i \leq 1$ ;  $b_j$  – коэффициент, отражающий способность негликемических нутриентов понижать GI продукта;

$$GL = \frac{GI \times \text{содержание (г) гликемических углеводов в порции продукта}}{100}. \quad (3)$$

зависимости от возраста ребенка этого количества достаточно, чтобы покрыть от 13,9 до 25,5 % и от 16,1 до 29,8 % физиологической потребности детского организма в пищевых волокнах при употреблении порции (30 г) зерновых батончиков «Морковный» и «Ягодный» соответственно<sup>7</sup>.

Проведенные расчеты показали, что GI зернового батончика «Морковный» равен 64, батончика «Ягодный» – 63, оба имеют средний GI ( $56 \leq GI \leq 69$ ). Незначительная разница между полученными значениями GI объясняется более низким содержанием крахмала в зерновом батончике «Ягодный» по сравнению с «Морковым».

Известно, что экспандированное зерно обладает повышенной пищевой ценностью, в частности за счет декстринизации и клейстеризации крахмала, а также общего повышения водорастворимых веществ, происходящих в процессе баротермической обработки [16].

<sup>1</sup>ГОСТ 5900-2014. Изделия кондитерские. Методы определения влаги и сухих веществ. М.: Стандартинформ, 2015. 13 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293765/4293765282.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ 5901-2014. Изделия кондитерские. Методы определения массовой доли золы и металломагнитной примеси. М.: Стандартинформ, 2015. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/cf6/4293765281.pdf>

<sup>3</sup>ГОСТ 26889-86. Продукты пищевые и вкусовые. Общие указания по определению содержания азота методом Кельдаля. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/198/19891.pdf>

<sup>4</sup>ГОСТ 23042-2015. Мясо и мясные продукты. Методы определения жира. М.: Стандартинформ, 2016. 11 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/900/4293756023.pdf>

<sup>5</sup>Руководство по методам контроля качества и безопасности биологически активных добавок к пище. М.: Федеральный центр госсанэпиднадзора Минздрава России, 2004. 240 с.

<sup>6</sup>Peris-Tortajada M. HPLC Determination of Carbohydrates in Foods. Food Analysis by HPLC. Leo M. L. Nollet, Toldra Fidel. 3rd Edition. Boca Raton: CRC Press, 2012. Ch. 7. Pp. 100, 233. DOI: <https://doi.org/10.1201/b13024-8>

<sup>7</sup>Методические рекомендации МР 2.3.1.0253-21. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. М.: Роспотребнадзор, 2021. 72 с.

Таблица 3 – Химический состав зерновых батончиков «Морковный», «Ягодный» и данные для расчета ГИ и ГН [10, 12] /

Table 3 – Chemical composition of cereal bars “Morkovnyj” and “Yagodnyj” and data for calculating the GI and GN [10, 12]

Нутриент / Nutrient	«Морковный» / “Morkovnyj”	«Ягодный» / “Yagodnyj”	GI <sub>i</sub>	b <sub>i</sub>
	содержание, г/100 г / content, g/100g			
Влага / Moisture	9,30	9,50	-	0,0
Зола / Ash	0,33	0,65	-	0,1
Белки / Proteins	5,30	5,50	-	0,6
Жиры / Fats	1,08	1,03	-	0,6
Растворимые пищевые волокна / Soluble fiber	8,80	10,00	-	0,3
Нерастворимые пищевые волокна / Insoluble fiber	1,40	1,90	-	0,1
Крахмал / Starch	57,76	52,51	70*	-
Фруктоза / Fructose	4,13	5,28	20	-
Сахароза / Sucrose	3,65	4,29	62	-
Глюкоза / Glucose	8,25	9,34	100	-

Примечания:  $GI_i$  – гликемический индекс углевода,  $b_i$  – коэффициент, отражающий способность негликемических нутриентов понижать гликемический индекс продукта; \* данные из источника [10] /

Notes:  $GI_i$  – glycemic index of carbohydrate,  $b_i$  – coefficient reflecting the ability of non-glycemic nutrients to lower the glycemic index of the product; \* data from source [10]

В зерновом батончике «Морковный» мас-совая доля зерновых компонентов составляет 54,0 %, крахмальной патоки (связующего агента) – 39,6 %, батончике «Ягодный» – 62,0 и 31,0 % соответственно. Полученные значения ГИ ниже ожидаемых, что, вероятно, объясняется наличием в рецептуре источников белков и пищевых волокон (злаки, яблочный порошок и порошок черной смородины). Данная группа веществ способна значительно ограничивать доступность гликемических углеводов, в первую очередь крахмала, для пищеварительных ферментов, снижая их усвояемость и, как следствие, уровень глюкозы в крови и ГИ [8].

Расчет ГН разработанных зерновых батончиков проводили для порции массой 30 г. Установлено, что ГН порции зерновых батончиков «Морковный» и «Ягодный» составляет 14,3 и 13,6 соответственно. Найденные значения ГН, также как и значения ГИ, находятся в интервале средних ( $11 \leq GL \leq 19$ ).

Полученные значения ГИ и ГН позволяют спрогнозировать воздействие порции разрабатываемых изделий на изменение содержания глюкозы в крови. Средний уровень значений показателей ГИ и ГН предполагает, что при потреблении порции безглютенового

зернового батончика возможно достаточно быстро и относительно надолго насытить организм и восстановить запасы энергии.

В таблице 4 приведены данные ряда международных исследований ГИ и ГН зерновых батончиков. Значения ГН представлены для порции батончика массой 30 г [12, 17, 18].

Данные, представленные в таблице 4, свидетельствуют о том, что разработанные зерновые батончики «Морковный» и «Ягодный» соответствуют существующим на рынке аналогам по значениям ГИ и ГН.

Авторы используемой методики заявляют о высокой сходимости результатов с истинными значениями (полученными *in vivo*) ГИ и ГН, при этом расчетные значения являются ориентировочными, они предназначены для оценки качества исследуемого продукта в процессе разработки.

**Заключение.** Полученные экспериментальные данные химического состава безглютеновых зерновых батончиков указывают на высокое содержание пищевых волокон, а также растительного белка, что обуславливает высокие показатели пищевой ценности разрабатываемого изделия.



Таблица 4 – ГИ и ГН зерновых батончиков /  
Table 4 – GI and GL of cereal bars

Наименование / Name		ГИ / GI	ГН / GL	
Fibre Plus bar (Uncle Toby's, Australia)	[17]	78	18	Средний / Average
K-Time Just Right bar (Kellogg's Australia)	[17]	72	17	
Батончик / Bar	[12]	72	14,8	
Батончик / Bar	[12]	71	14,6	
Батончик / Bar	[12]	70	14,6	
Батончик / Bar	[12]	68	13,3	
Зерновой батончик* / Cereal bar	[18]	66	13,2	
Батончик / Bar	[12]	66	12,6	
Sustain bar (Kellogg's, Australia)	[17]	57	14	

\*В пересчете на порцию 30 г / Per portion of 30 g

Полученные значения ГИ и ГН находятся в интервале средних значений, что также определяет возможное воздействие потребления разрабатываемых изделий на организм человека, позволяя достаточно быстро и относительно надолго насытить организм и восполнить запасы энергии. Показатели ГИ и ГН не являются детерминирующими при оценке качества разработанного продукта, а несут дополнительную

информацию для потребителя в случае наличия дополнительных диетических ограничений.

Разрабатываемая продукция в виде безглютеновых зерновых батончиков на основе экспандированного зерна для детского питания, предназначенная в качестве безопасного перекуса в случаях невозможности обеспечения детей с непереносимостью глютена полноценным питанием.

#### Список литературы

1. Потапкина Е. П., Мажаева Т. В., Синицына С. В., Козубская В. И., Чугунова О. В., Гращенков Д. В. Интегрированный подход к обеспечению качественного, безопасного и здорового питания школьников. Индустрия питания. 2024;9(1):91–103. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-10> EDN: YYGZKT
2. Мажаева Т. В., Дубенко С. Э. Стратегия нутритивной поддержки при организации питания детей дошкольного возраста с пищевой непереносимостью. Индустрия питания. 2023;8(2):31–41. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-4> EDN: ECUDJG
3. Ходырева З. Р., Щетинин М. П., Мусина О. Н., Щетинина Е. М., Вайтанис М. А. Разработка суточного рациона питания детей целиакией, находящихся в муниципальных дошкольных образовательных учреждениях. Вопросы питания. 2021;90(2):110–116. DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-110-116> EDN: BGQUTL
4. Бавыкина И. А., Попов В. И., Звягин А. А., Бавыкин Д. В. Безглютеновая диета в терапии внекишечных форм непереносимости глютена. Вопросы питания. 2020;89(2):21–27. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42985970> EDN: XAOGMD
5. Захарова И. Н., Климов Л. Я., Кочнева Л. Д., Гевандова М. Г., Курьянинова В. А., Стоян М. В., Кашников В. С., Иванова А. В., Ягупова А. В., Кашникова С. Н. Социальные аспекты соблюдения безглютеновой диеты детьми и подростками с целиакией. Российский вестник перинатологии и педиатрии. 2020;65(6):57–64. DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-57-64> EDN: JRQFXD
6. Иващенко Я. С., Осипова Е. Р., Орлова О. Ю., Бойцова Ю. С. Анализ тенденций рынка и изучение спроса на функциональную безглютеновую продукцию. Научный журнал НИУ ИТМО. Серия «Экономика и экологический менеджмент». 2022;(3):89–96. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49551764> EDN: LSPWDE
7. Попов В. Г., Хайруллина Н. Г., Садыкова Х. Н. Тенденции использования безглютеновых видов муки в производстве продукции функционального назначения. Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2021;83(1):121–128. DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128> EDN: AWOYEE
8. Детское питание: руководство для врачей. Под ред. В. А. Тутельяна, И. Я. Коня. 4-е изд., перераб. и доп. М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2017. 784 с.
9. Драпкина О. М., Дикур О. Н. Избыточный вес и недостаток массы тела: между Сциллой и Харибдой. Артериальная гипертензия. 2009;15(6):633–639. DOI: <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2009-15-6-633-639>
10. Могильный М. П., Шалтумаев Т. Ш., Могильный А. М. Показатели качества продуктов здорового питания. Новые технологии. 2014;(1):33–38. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21519832> EDN: SCXWSL

11. Витол И. С., Мелешкина Е. П., Дубцова Г. Н. К вопросу определения гликемического индекса по глюкозе. *Пищевые системы*. 2021;4(1):40–44. DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-40-44> EDN: OWXLBF
12. Rytz A., Adeline D., Lê K. A., Tan D., Lamothe L., Roger O., Macé K. Predicting Glycemic Index and Glycemic Load from Macronutrients to Accelerate Development of Foods and Beverages with Lower Glucose Responses. *Nutrients*. 2019;11(5):1172. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051172>
13. Monnard C., Rytz A., Tudorica C. M., Fiore G. L., Do T. A. L., Bhaskaran K., Macé K., Shahkhalili Y. Nutritional Composition of Infant Cereal Prototypes Can Precisely Predict Their Glycemic Index. *Nutrients*. 2022;14(18):3702. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14183702>
14. Урубков С. А., Смирнов С. О., Будова А. В., Соколова Е. Н., Юраскина Т. В. Аминокислотный состав экспандированного зерна безглютеновых культур. *Вопросы детской диетологии*. 2024;22(2):96–101. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67314018> EDN: IYABFU
15. Урубков С. А., Будова А. В., Смирнов С. О. Анализ качества безглютеновых батончиков на основе экспандированного зерна. *Современные аспекты производства и переработки сельскохозяйственной продукции: сб. ст. по мат-лам VII Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 20-летию кафедры технологии хранения и переработки животноводческой продукции Кубанского ГАУ*. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2023. С. 21–26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jmukgb> EDN: JMUKGB
16. Горун Е. Г., Потапов В. Д. *Технология и оборудование производства сухих завтраков*. М.: Пищевая промышленность, 1972. 144 с.
17. Foster-Powell K., Holt S. H., Brand-Miller J. C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2022;76(1):5–56. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.5>
18. Zambrano R., Granito M., Valero Y. Respuesta glicémica al consumo de una barra de cereales-leguminosa (*Phaseolus vulgaris*) en individuos sanos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 2013;63(2):134–141. URL: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222013000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222013000200004)

#### References

1. Potapkina E. P., Mazhaeva T. V., Sinitsyna S. V., Kozubskaya V. I., Chugunova O. V., Grashchenkov D. V. An integrated approach to the high-quality, safe and healthy nutrition provision for schoolchildren. *Industriya pitaniya = Food Industry*. 2024;9(1):91–103. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2024-9-1-10>
2. Mazhaeva T. V., Dubenko S. E. Nutriative support strategy in the catering of preschool children with the food intolerance. *Industriya pitaniya = Food Industry*. 2023;8(2):31–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2023-8-2-4>
3. Khodyreva Z. R., Schetinina M. P., Musina O. N., Schetinina E. M., Vaytanis M. A. Development of a daily diet for children with celiac disease in municipal pre-school educational institutions. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2021;90(2):110–116. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33029/0042-8833-2021-90-2-110-116>
4. Bavykina I. A., Popov V. I., Zvyagin A. A., Bavykin D. V. Gluten-free diet in the treatment of extra-intestinal forms of gluten intolerance. *Voprosy pitaniya = Problems of Nutrition*. 2020;89(2):21–27. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=42985970>
5. Zakharova I. N., Klimov L. J., Kochneva L. D., Gevandova M. G., Kuryaninova V. A., Stoyan M. V., Kashnikov V. S., Ivanova A. V., Jagupova A. V., Kashnikova S. N. Social Aspects of Adherence to Gluten-Free Diet for Children and Adolescents with Celiac Disease. *Rossiyskiy Vestnik Perinatologii i Pediatrii = Russian Bulletin of Perinatology and Pediatrics*. 2020;65(6):57–64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21508/1027-4065-2020-65-6-57-64>
6. Ivashchenko Ya. S., Osipova E. R., Orlova O. Yu., Boytsova Yu. S. Market trend analysis and demand study for functional gluten-free products. *Nauchnyy zhurnal NIU ITMO. Seriya «Ekonomika i ekologicheskiy menedzhment» = Scientific journal NRU ITMO Series «Economics and Environmental Management»*. 2022;(3):89–96. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49551764>
7. Popov V. G., Hajrullina N. G., Sadykova H. N. Trends in the use of gluten-free flours in the production of functional products. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologiy = Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2021;83(1):121–128. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.20914/2310-1202-2021-1-121-128>
8. Baby food: a guide for doctors. *Pod red. V. A. Tutelyana, I. Ya. Konya. 4-e izd., pererab. i dop.* Moscow: OOO «Meditsinskoe informatsionnoe agentstvo», 2017. 784 p.
9. Drapkina O. M., Dikur O. N. Underweight and overweight: between Scylla and Charybdis. *Arterial'naya Gipertenziya = Arterial Hypertension*. 2009;15(6):633–639. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18705/1607-419X-2009-15-6-633-639>
10. Mogilnyy M. P., Shaltumaev T. Sh., Mogilnyy A. M. Quality indicators of healthy foods. *Novye tekhnologii = New technologies*. 2014;(1):33–38. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=21519832>
11. Vitol I. S., Meleshkina E. P., Dubtsova G. N. To the question of determining glycemic index by glucose. *Pishchevye sistemy = Food systems*. 2021;4(1):40–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21323/2618-9771-2021-4-1-40-44>
12. Rytz A., Adeline D., Lê K. A., Tan D., Lamothe L., Roger O., Macé K. Predicting Glycemic Index and Glycemic Load from Macronutrients to Accelerate Development of Foods and Beverages with Lower Glucose Responses. *Nutrients*. 2019;11(5):1172. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051172>

13. Monnard C., Rytz A., Tudorica C. M., Fiore G. L., Do T. A. L., Bhaskaran K., Macé K., Shahkhalili Y. Nutritional Composition of Infant Cereal Prototypes Can Precisely Predict Their Glycemic Index. *Nutrients*. 2022;14(18):3702. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu14183702>
14. Urubkov S. A., Smirnov S. O., Budova A. V., Sokolova E. N., Yuraskina T. V. Amino acid composition of expanded grains of gluten-free crops. *Voprosy detskoy dietologii* = Pediatric Nutrition. 2024;22(2):96–101. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=67314018>
15. Urubkov S. A., Budova A. V., Smirnov S. O. Analysis of the quality of gluten-free bars based on expanded grains. Modern aspects of the production and processing of agricultural products: collection of articles on the materials of the VII International scientific and practical conference dedicated to the 20th anniversary of the Department of technology of storage and processing of livestock products of the Kuban State Agrarian University. Krasnodar: *Kubanskiy GAU im. I. T. Trubilina*, 2023. pp. 21–26. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=jmukgb>
16. Gorun E. G., Potapov V. D. Technology and equipment for the production of breakfast cereals. Moscow: *Pishchevaya promyshlennost'*, 1972. 144 p.
17. Foster-Powell K., Holt S. H., Brand-Miller J. C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *The American Journal of Clinical Nutrition*. 2002;76(1):5–56. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.5>
18. Zambrano R., Granito M., Valero Y. Respuesta glicémica al consumo de una barra de cereales-leguminosa (*Phaseolus vulgaris*) en individuos sanos. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion*. 2013;63(2):134–141. URL: [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222013000200004](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222013000200004)

#### **Сведения об авторах**

✉ **Будова Анна Владимировна**, ведущий инженер отдела детского и диетического питания, Научно-исследовательский институт пищевого концентрата промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», п. Измайлово, д. 22, Ленинский р-н, Московская обл., Российская Федерация, 142718, e-mail: [gnumiipspt@gmail.com](mailto:gnumiipspt@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4951-2897>, e-mail: [budova.anna@gmail.com](mailto:budova.anna@gmail.com)

**Урубков Сергей Александрович**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела детского и диетического питания, Научно-исследовательский институт пищевого концентрата промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», п. Измайлово, д. 22, Ленинский р-н, Московская обл., Российская Федерация, 142718, e-mail: [gnumiipspt@gmail.com](mailto:gnumiipspt@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2292-8649>

**Смирнов Станислав Олегович**, кандидат техн. наук, зам. директора по научной работе, Научно-исследовательский институт пищевого концентрата промышленности и специальной пищевой технологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», п. Измайлово, д. 22, Ленинский р-н, Московская обл., Российская Федерация, 142718, e-mail: [gnumiipspt@gmail.com](mailto:gnumiipspt@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

#### **Information about the authors**

✉ **Anna V. Budova**, leading engineer, Department of children's and dietary nutrition, Research Institute of Food-concentrate Industry and Special Food Technology – Branch «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», 22, Izmailovo, Leninsky district, Moscow region, Russian Federation, 142718, e-mail: [gnumiipspt@gmail.com](mailto:gnumiipspt@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4951-2897>, e-mail: [budova.anna@gmail.com](mailto:budova.anna@gmail.com)

**Sergey A. Urubkov**, PhD in Engineering, senior researcher, Department of children's and dietary nutrition, Research Institute of Food-concentrate Industry and Special Food Technology – Branch «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», 22, Izmailovo, Leninsky district, Moscow region, Russian Federation, 142718, e-mail: [gnumiipspt@gmail.com](mailto:gnumiipspt@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2292-8649>

**Stanislav O. Smirnov**, PhD in Engineering, Deputy Director, Research Institute of Food-concentrate Industry and Special Food Technology – Branch «Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety», 22, Izmailovo, Leninsky district, Moscow region, Russian Federation, 142718, e-mail: [gnumiipspt@gmail.com](mailto:gnumiipspt@gmail.com), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8073-1238>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1059-1068>  
УДК 664.782+634.738:664.696:613.292



## Экструдирование смеси рисовой крупы и гидролизата жмыха брусники: влияние фактора влагосодержания на характеристики экструдата

© 2024. А. Ю. Шариков, В. В. Иванов, М. В. Амелякина<sup>✉</sup>, Е. Н. Соколова, В. В. Ионов, Е. М. Серба

Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», г. Москва, Российская Федерация

*Жмыхи плодово-ягодного сырья являются перспективным источником биологически активных соединений: пищевых волокон, фенольных соединений пектинов, каротиноидов, природных антиоксидантов, обладающих профилактическим и лечебным эффектами при метаболических, сердечно-сосудистых, желудочно-кишечных и нейродегенеративных заболеваниях. Включение жмыхов в пищевые технологии способствует экологизации производств. Исследование проведено с целью изучения влияния влагосодержания смеси в процессе переработки рисовой крупы с гидролизатом жмыха брусники на режимные параметры экструзии, технологические и физико-химические показатели экструдатов. Гидролизаты жмыха брусники получали ферментативным способом с применением комплекса биокатализаторов, включающего пектиназу, целлюлазу, протеазу и липазу. Гидролизат высушивали, в количестве 5 % добавляли к рисовой крупе и экструдировали, варьируя влагосодержание смеси в диапазоне 15–21 %. Контроль – экструдаты дробленого риса, полученные при влагосодержании 15 и 21 %. Увеличение влагосодержания приводило к снижению температуры экструзии со 160 до 152 °С, момента сдвиговых деформаций с 80 до 52 %, давления с 4,0 до 2,4 МПа, удельного расхода механической энергии с 0,152 до 0,099 кВт·ч/кг. Повышение влажности при экструзии смесей с гидролизатом жмыха брусники ведет к снижению квадратичного коэффициента расширения с 7,3 до 3,5, насыпная масса увеличивается с 89,5 до 243,2 г/дм<sup>3</sup>, твердость экструдатов – с 7,5 до 39,0 Н. Частота микроразломов при проколе и деформации, как характеристика пористости, снижается с 3,5 до 2,0 мм<sup>-1</sup>. Динамическая вязкость суспензий помолов экструдатов с гидролизатом жмыха брусники с увеличением влагосодержания значимо растет с 2,0 до 4,0 Па·с. Тенденции изменения термомеханических режимов переработки, определяемых количеством воды в системе, технологических и структурно-механических свойств для контроля и экспериментальных смесей были идентичны, без значимых различий. Установлено, что в экструдатах с гидролизатом жмыха брусники минимальной влажности 15 % соответствует максимальное содержание фенольных соединений – 679,6 мг/кг, при 21 % влагосодержании их количество составляет только 223,1 мг/кг.*

**Ключевые слова:** *Vaccinium vitis-idaea* L., экструзия, биокатализ, вторичные сырьевые ресурсы, пищевые концентраты, фенольные соединения, структурно-механические свойства

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке Российского научного фонда, проект № №22-16-00100, <https://rscf.ru/project/22-16-00100/>

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов

**Для цитирования:** Шариков А. Ю., Иванов В. В., Амелякина М. В., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Серба Е. М. Экструдирование смеси рисовой крупы и гидролизата жмыха брусники: влияние фактора влагосодержания на характеристики экструдата. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2024;25(6):1059–1068.  
DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1059-1068>

Поступила: 20.06.2024

Принята к публикации: 29.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Extrusion of rice grits with lingonberry pomace hydrolysate: moisture content and characteristics of the extrudate

© 2024. Anton Yu. Sharikov, Viktor V. Ivanov, Maria V. Amelyakina<sup>✉</sup>, Elena N. Sokolova, Vladislav V. Ionov, Elena M. Serba

All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Centre of Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Moscow, Russian Federation

*Fruit and berry pomaces are promising sources of biologically active compounds: dietary fibers, phenolic compounds, pectins, carotenoids, and natural antioxidants that have preventive and therapeutic effects in metabolic, cardiovascular, gastrointestinal and neurodegenerative diseases. The active inclusion of pomaces as by-products in the food technologies contributes to the transition to more sustainable industrial processes. The study was conducted to investigate the influence of the moisture content of the mixture during the processing of rice with hydrolysate of lingonberry pomace on the operating parameters of extrusion, technological and physicochemical characteristics of the extrudates. Lingonberry pomace hydrolysate was obtained by an enzymatic method using a complex of biocatalysts, including pectinase, cellulase, protease and lipase. The hydrolysate*



was dried, added in an amount of 5 % to rice and extruded varying the moisture content in the range of 15–21 %. Control samples were rice extrudates obtained with a moisture content of 15 and 21%. An increase in the moisture of the extruded mixture led to a decrease the extrusion temperature from 160 to 152 °C, the torque from 80 to 52 %, the pressure from 4.0 to 2.4 MPa, and the specific mechanical energy from 0.152 to 0.099 kW h/kg. In terms of structural and mechanical properties, an increase in moisture of mixture with hydrolyzed lingonberry pomace leads to a decrease in the quadratic expansion coefficient from 7.3 to 3.5. The bulk density increases from 89.5 to 243.2 g/dm<sup>3</sup>, the hardness of the extrudates – from 7.5 to 39.0 N, the average crushing force – from 3.4 to 16.1 N. The frequency of microfractures during puncture and deformation as a characteristic of porosity decreases from 3.5 to 2.0 mm<sup>-1</sup>. The dynamic viscosity of suspensions of extrudates with lingonberry pomace hydrolyzate increases significantly with increasing moisture content during extrusion from 2.0 to 4.0 Pa s. The trends in changes in thermomechanical processing modes determined by the amount of water in the system, technological and structural-mechanical properties for the control and experimental mixtures were identical without significant differences. It was established that the maximum content of phenolic compounds of 679.6 mg/kg corresponds to extrudates with hydrolyzed lingonberry pomace produced at minimum moisture of 15 %, by moisture of 21 % the content of phenolic compounds is only 223.1 mg/kg

**Keywords:** *Vaccinium vitis-idaea* L., extrusion, biocatalysis, food by-products materials, food concentrates, phenolic compounds, structural and mechanical properties

**Acknowledgments:** the study was funded by a grant from the Russian Science Foundation №22-16-00100, <https://rscf.ru/project/22-16-00100/>

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

**Conflict of interests:** the authors stated that there was no conflict of interests

**For citation:** Sharikov A. Yu., Ivanov V. V., Amelyakina M. V., Sokolova E. N., Ionov V. V., Serba E. M. Extrusion of rice grits with lingonberry pomace hydrolysate: moisture content and characteristics of the extrudate. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1059–1068. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1059-1068>

Received: 20.06.2024

Accepted for publication: 29.11.2024

Published online: 25.12.2024

Актуальными тенденциями при разработке новых экструдированных продуктов, в номенклатуре которых представлены снеки, сухие завтраки, диетические продукты, пищевые концентраты, каши быстрого приготовления, являются повышение пищевой ценности за счет введения ингредиентов с высоким содержанием биологически активных веществ и использование натурального сырья [1, 2]. При этом целесообразно использовать не только нативное сырье, но и вторичные ресурсы его переработки, которые в зависимости от типа сырья, используемой технологии могут быть источниками различных биологически активных веществ, обладать технологическими свойствами пищевых добавок. К таким перспективным вторичным сырьевым ресурсам относятся и жмыхи плодово-ягодного сырья, образующиеся в процессе его переработки, в основном, на соки [3, 4]. Известны исследования по применению в технологии экструдированных продуктов жмыхов черной смородины [5], клюквы, черники, винограда, яблок [6, 7, 8]. Содержание высушенных жмыхов в рецептурах продуктов не превышало 30 %, а высокие дозировки провоцировали ухудшение структурно-механических, органолептических характеристик. При этом за счет использования жмыхов в химическом составе экструдатов отмечено повышение содержания пищевых волокон, различных фенольных соединений.

Комплексная переработка плодов и ягод с полноценным использованием их жмыхов позволяет предприятиям решать задачи по расширению линейки выпускаемой продукции, производить продукты с высокой добавленной стоимостью и нивелировать экологические риски для окружающей среды, возникающие при хранении отходов без полноценной утилизации [9]. Основными процессами, используемыми в переработке жмыхов плодово-ягодного сырья, являются сушка и экстракция, в том числе с использованием ферментных препаратов. Биокатализ с применением различных ферментных препаратов с целлюлолитической, пектолитической и гемицеллюлолитической субстратной специфичностью позволяет проводить направленный гидролиз биополимеров растительного сырья и отказаться от применения в цикле экстракции органических растворителей [10]. Перспективность такого технического решения показана при получении экстрактов из жмыхов аронии черноплодной [11], вишни [12], малины [13], черники [14]. Интерес к глубокой переработке ягод обусловлен вниманием к их антиоксидантному потенциалу, высокому содержанию фенольных веществ, участвующих в регуляции защитно-адаптационного потенциала организма, профилактическим и лечебным эффектами при широком спектре заболеваний человека, например, сердечно-сосудистых заболеваниях, раке, хроническом воспалении, дегенеративных заболеваниях, нарушениях обмена веществ, таких как диабет



II типа [15]. Выделенные биоактивные соединения жмыхов можно использовать в качестве противомикробных средств, экстрактов, способствующих укреплению здоровья, пребиотиков, ароматических соединений, красителей и биостимуляторов [16]. Отмечается важность не только водно-растворимых фенольных соединений, но и неэкстрагируемых полифенолов, связанных с матриксом клеточной стенки растений и способных проявлять свою биологическую активность дольше, чем экстрагируемые полифенолы [17].

По содержанию фенольных соединений одним из наиболее богатых источников является брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.) [18, 19]. В составе ягоды найдены антоцианы, лейкоантоцианы, катехины, флавонолы и фенолокислоты, общее содержание полифенольных соединений варьирует от 500 до 1910 мг%. На 100 г свежих ягод содержание антоцианов колеблется в пределах 180–530 мг, флавонолов 216–263 мг, лейкоантоцианов 150–1060 мг, кверцетина 2,5–11,3, количество фенольных веществ – 82 мг, антоцианинов – 6,85 мг [19]. Благодаря сильному антиоксидантному, противовирусному, противомикробному, противовоспалительному и нейропротекторному потенциалу профилактическое потребление брусники и продуктов на ее основе может снизить риск и развитие метаболических, сердечно-сосудистых, желудочно-кишечных и нейродегенеративных заболеваний [20]. Жмыхи брусники, образуемые после отделения сока, являются перспективным сырьем для комплексной переработки, предусматривающей на первом этапе водно-ферментативную обработку и сушку продукта гидролиза, а на втором – экструдирование зернового сырья с включением в его рецептуру ферментолизата жмыха.

**Цель исследования** – изучить влияние влагосодержания в процессе экструзии рисовой крупы в смеси с ферментоллизатом жмыха брусники на физико-химические показатели экструдатов.

**Задачи исследования:**

- оценить влияние влагосодержания на режимные параметры экструзии: температуру и давление в камере экструдера, момент сдвига;
- изучить соответствующие изменения технологических, структурно-механических, гидратационных и цветовых характеристик экструдатов;

- определить характер влияния варьируемого фактора на изменение содержания фенольных соединений в экструдатах.

**Научная новизна** – впервые установлено, что интеграция предварительной биокаталитической обработки жмыха брусники с последующей экструзией со снижением влагосодержания смеси позволяет значительно повысить содержание фенольных соединений в экструдатах. Показаны тенденции изменения структурно-механических, гидратационных и реологических характеристик экструдатов с ферментоллизатом жмыха брусники в зависимости от влагосодержания.

**Материал и методы.** Объекты исследования – процесс экструзии смеси дробленой рисовой крупы, как вторичного сырьевого ресурса крупяной промышленности, и гидролизата жмыха брусники, а также полученные экструдаты.

В качестве сырья использовали дробленый рис по ГОСТ 6292-93<sup>1</sup>, гидролизат жмыха брусники. После отжима сока брусники жмых подвергали ферментативной обработке следующим комплексом гидролаз: пектиназа – 0,25 ед. ПкС/г, целлюлаза – 0,75 ед. ЦС/г, протеаза – 0,05 ед. ПС/г, липаза 0,05 ед. ЛС/г. Условия гидролиза: гидромодуль – 1:2; температура 50 °С, pH 4,8, время экспозиции 6 часов. Далее гидролизат жмыха высушивали при температуре 65 °С.

Высушенный гидролизат жмыха брусники добавляли к дробленному рису в количестве 5 %. Полученную смесь перерабатывали на двухшнековом экструдере Werner&Phleiderer Continua 37 при различных гидротермомеханических режимах, характеризующихся различной степенью воздействия на сырье температуры и сил сдвиговых деформаций, определяемых изменением влагосодержания в камере экструдера от 15 до 21 %, контрольными образцами служили экструдаты дробленного риса, полученные при влагосодержании 15 и 21 %. Скорость вращения шнеков – 200 об/мин, производительность по смеси – 20 кг/час. Стренг экструдата формовали через фильеру с двумя отверстиями круглого профиля Ø3,5 мм.

Удельный расход механической энергии рассчитывали по формуле [21]:

$$SME = \frac{n}{n_{max} \times Kg} \times N \times M,$$

где SME – удельный расход механической энергии на экструдирование, кВт·ч/кг сырья;  $n$  и

<sup>1</sup>ГОСТ 6292-93. Крупа рисовая. Технические условия. М.: Стандартинформ, 2010. 8 с.  
URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294823/4294823160.pdf>

$n_{max}$  – установленная и максимально возможная скорости вращения шнеков, соответственно, об/мин;  $Kg$  – расход сырья, кг/ч;  $N$  – мощность двигателя экструдера, кВт;  $M$  – момент на валу редуктора.

Коэффициент квадратичного расширения экструдатов рассчитывали по соотношению площадей сечения экструдата и отверстия фильеры [22]. Измерение проводили в 10 повторностях.

Структурно-механические свойства определяли с использованием анализатора текстуры Brookfield CT3 и программного обеспечения TexturePro CT. Скорость прокола составляла 0,5 мм/с, диаметр индентора 3 мм, глубина прокола 3 мм. Результатом каждого теста являлась кривая зависимости силы от расстояния, что позволяло рассчитать следующие свойства текстуры: твердость – сила при самом максимальном пике нагрузки, имитирующая сжатие продукта зубами; частота микроразломов как отношение числа микроразломов к глубине прокалывания; средняя прочность на разламывание как отношение площади под кривой нагрузки к глубине прокола [23]. Измерения проводили в 10 повторностях.

Насыпную плотность определяли в мерном цилиндре диаметром 10 см в 3 повторностях. Растворимость и влагоудерживающую способность оценивали по разделению 10 % суспензии помола экструдатов в центробежном поле при центрифугировании на лабораторной центрифуге ОПН-8 при 3000×g. Растворимость образца рассчитывали как отношение концентрации растворимых сухих веществ в фугате к общей концентрации сухих веществ среды. Влагоудерживающую способность определяли как отношение массы осадка после фугования к массе сухих веществ. Тест проводили в 3 повторностях.

Для определения реологических свойств помолов экструдатов, имитирующих доведение инстант-продукта до готовности, помол смешивали с водой, имеющей температуру 95–98 °C в соотношении 1:3 при постоянном перемешивании. После перемешивания температуру образца снижали до 24 °C и измеряли динамическую вязкость вискозиметром SV-10 (AND, Япония). Измерение проводили в 3 повторностях.

Цветовые показатели экструдатов оценивали колориметрическим методом в системе CIE LAB с использованием анализатора CS-10 (Hangzhou CHNSpec Technology, Китай) [24]

в 10 повторностях, где  $L^*$  – характеристика светлоты от 0 до 100, хроматические составляющие  $a^*$  ( $-a^*$  – зеленый,  $+a^*$  – красный) и  $b^*$  ( $-b^*$  – синий,  $+b^*$  – желтый) [23, 24].

Суммарное содержание фенольных соединений в экструдатах осуществляли спектрофотометрическим методом с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу с использованием спектрофотометра Specord 50 Analytic Yena при длине волны 720 нм в 3 повторностях [25].

Статистическую обработку проводили с использованием пакета программ Statistica 6.0. Значения представлены в виде средних  $\pm$  стандартное отклонение. Достоверность различий средних определяли методами однофакторного дисперсионного анализа и тестом Тьюки при  $p < 0,05$ . В представленных в таблицах 1–4 данных различие значений в каждом столбце, обозначенных одинаковыми буквенными индексами, статистически незначимо при  $p < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Высушенные после ферментативной обработки жмыхи брусники смешивали с рисовой крупой в количестве 5 % по массе и экструдировали при влагосодержании смеси 15, 18 и 21 %.

В таблице 1 представлены режимы экструзии контрольной и экспериментальной смесей, для которых увеличение влагосодержания значительно снизило температуру, давление и момент сдвиговых деформаций. Это объясняется снижением трения в камере экструдера и соответственно уменьшением степени термомеханического воздействия на перерабатываемый материал. Для смесей с ферментализатом жмыха брусники температура экструзии снизилась с 160 до 152 °C, момент сдвиговых деформаций с 80 до 52 %, давление с 4,0 до 2,4 МПа. При этом не отмечено значимых различий в показателях режимных параметров для контроля и экспериментальной смеси.

Удельный расход механической энергии отражает меру вложенной в перерабатываемое сырье механической энергии, которая в результате диссипации сил трения в камере экструдера преобразуется в тепло. Увеличение влагосодержания снижает удельный расход механической энергии с 0,152 до 0,099 кВт·ч/кг.

На рисунке 1 представлены фотографии образцов экструдатов, полученных при различном влагосодержании с добавлением 5 % ферментализата жмыха брусники. Анализ внешнего вида

образцов показывает, что увеличение содержания влаги в камере экструдера приводит к снижению размеров экструдатов, ухудшению их формования.

Результаты анализа структурно-механических свойств, представленные в таблице 2, подтверждают эти наблюдения.

**Таблица 1 – Режимные параметры экструзии / Table 1 – Extrusion operating parameters**

Образец / Sample	Влаго- содержание смеси, % / Moisture, %	Темпера- тура, °C / Tempera- ture, °C	Момент сдвиговых деформаций, % / Torque, %	Давление, Мпа / Pressure, MPa	Удельный расход механической энергии, кВт·ч/кг / Specific mechanical energy, kW·h/kg
Рисовая крупа / Broken rice	15	164±2 <sup>a</sup>	90±2	5,0±0,2	0,171
	21	150±2 <sup>b</sup>	54±1 <sup>a</sup>	2,6±0,1 <sup>a</sup>	0,103
Рисовая крупа с добавлением 5 % гидролизата жмыха брусники / Broken rice with 5 % lingonberry pomace hydrolysate	15	160±2 <sup>a</sup>	80±1	4,0±0,2	0,152
	18	156±1	67±1	3,0±0,2	0,127
	21	152±2 <sup>b</sup>	52±2 <sup>a</sup>	2,4±0,2 <sup>a</sup>	0,099

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами в каждом столбце, статистически незначимы при  $p < 0,05$  /

Note: Means followed by the same letters within a column are not significantly different at  $p < 0.05$



*a / a*

*б / b*

*в / c*

*г / d*

**Рис. 1. Внешний вид образцов экструдатов: а – рисовая крупа, 15 % влагосодержание; б, в, г – с ферментализатом жмыха брусники при 15, 18 и 21 % влагосодержании /**

**Fig. 1. Photos of extrudates: a – broken rice, 15 % moisture; b, c, d – with lingonberry pomace hydrolysate at 15, 18 and 21 % moisture content**

**Таблица 2 – Структурно-механические показатели экструдатов / Table 2 – Structural and mechanical characteristics of extrudates**

Образец / Sample	Рисовая крупа / Broken rice		Рисовая крупа с добавлением 5 % фермен- толизата брусники / Broken rice with 5 % lingonberry pomace hydrolysate		
	15	21	15	18	21
Влагосодержание экструдированной смеси, % / Moisture during extrusion, %	15	21	15	18	21
Квадратичный коэффициент расширения / Quadratic expansion index	8,9±1,4 <sup>a</sup>	5,1±1,2 <sup>c</sup>	7,3±1,0 <sup>a</sup>	4,3±0,7 <sup>c</sup>	3,5±0,3 <sup>c</sup>
Насыпная масса, г/дм³ / Bulk density, g/dm³	94,7±3,2 <sup>a</sup>	250,4±4,5 <sup>b</sup>	89,5±3,0 <sup>a</sup>	148,9±4,2	243,2±3,9 <sup>b</sup>
Твердость, Н / Hardness, N	9,2±1,8 <sup>a</sup>	35,2±4,5 <sup>b</sup>	7,5±1,5 <sup>a</sup>	24,5±3,4 <sup>b</sup>	39,0±5,4 <sup>c</sup>
Частота структурных микроразломов, мм⁻¹ / Spatial frequency of ruptures, mm⁻¹	3,3±0,7 <sup>a</sup>	1,5±0,5 <sup>b</sup>	3,5±0,4 <sup>a</sup>	2,1±0,5 <sup>b</sup>	2,0±0,3 <sup>b</sup>
Средняя прочность на разламывание, Н / Average crushing force, N	3,5±0,9 <sup>a</sup>	7,2±2,5	3,4±0,8 <sup>a</sup>	12,1±0,8	16,1±2,9

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами в каждой строке, статистически незначимы при  $p < 0,05$  /

Note: Means followed by the same letters within a row are not significantly different at  $p < 0.05$

Квадратичный коэффициент расширения экструдатов с ферментолизатом жмыха брусники снижается с 7,3 до 3,5, насыпная масса увеличивается с 89,5 до 243,2 г/дм<sup>3</sup>, тенденции для контрольных образцов аналогичны. Значение показателя твердости, характеризующегося максимальной нагрузкой, имитирующей сжатие экструдата между зубами, при повышении влагосодержания с 15 до 21 % растет с 7,5 до 39,0 Н, увеличивается значение средней прочности на разлом с 3,4 до 16,1 Н. Частота микроразломов, инструментальный показатель, отражающий количество микропор в экструдатах с увеличением влагосодержания снижается с 3,5 до 2,0 мм<sup>-1</sup>.

На цветовые характеристики экструдатов могут оказывать влияние не только используемые в рецептуре смеси ингредиенты и пищевые добавки, но и режимы экструзии, определяющие интенсивность протекания различных химических реакций, например, реакции Майяра.

Таблица 3 – Цветовые характеристики экструдатов /  
Table 3 – Color characteristics of extrudates

Образец / Sample	Рисовая крупа / Broken rice		Рисовая крупа с добавлением 5 % ферментолизата брусники / Broken rice with 5 % lingonberry pomace hydrolysate		
	15	21	15	18	21
Влагосодержание экструдированной смеси, % / Moisture during extrusion, %					
L*	74,6±2,1	81,4±0,8	59,6±1,0 <sup>a</sup>	58,6±2,4 <sup>a</sup>	54,5±1,2
a*	7,1±0,6	3,8±0,1	16,4±1,1 <sup>a</sup>	18,4±2,1 <sup>a</sup>	18,8±0,9 <sup>a</sup>
b*	17,5±2,1 <sup>a</sup>	12,2±1,0 <sup>a</sup>	18,7±0,6 <sup>a</sup>	16,4±0,9 <sup>b</sup>	16,5±0,9 <sup>b</sup>

Примечания: L\* – светлота от 0 до 100; a\* – хроматическая составляющая цвета (-a\* – зеленый, +a\* – красный), b\* – хроматическая составляющая цвета (-b\* – синий, +b\* – желтый); различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждой строке статистически незначимы при p<0,05 /

Notes: L\* – quantified the brightness/darkness, a\* – referred to the redness/greenness, and b\* – referred to the yellowness/blueness; Means followed by the same letters within a row are not significantly different at p<0.05

В случае использования экструдата, как компонента каш быстрого приготовления, важными характеристиками его свойств являются способность к влагоудерживанию, растворимость и динамическая вязкость суспензий. Гидратационные и реологические характеристики помола экструдата представлены в таблице 4. Увеличение влагосодержания и соответствующее смягчение режимов экструзии снижают растворимость экструдатов в контроле – с 89 до 78 %, для экспериментальных образцов с компонентом брусники – с 92,5 до 73,0 %, влагоудерживающая способность при этом увеличивается с 1,9 до 2,3 г/г.

В таблице 3 приведены значения хроматических показателей цветовой оценки экструдатов. Внесение 5 % ферментолизата жмыха брусники значительно изменяет цветовые характеристики образцов. Значимо снижается показатель светлоты L\* с 74,6–81,4 для рисовой крупы до 54,5–59,6 для экспериментальной смеси. Для экструдатов с компонентом брусники количество влаги снижает показатель светлоты с 59,6 до 54,5. Параметр a\*, определяющий изменение в диапазоне от зеленого до красного, с добавлением ферментолизата значительно смещается в сторону красного цвета с 3,8–7,1 до 16,4–18,8, но между экспериментальными образцами, полученными при разном влагосодержании значимых различий не установлено. Повышение влагосодержания снижает значение хроматической составляющей b\*, определяющей изменение цвета от синего к желтому – с 18,7 до 16,5.

Консистенция каш, их реология является важным потребительским параметром для данной категории продуктов, так как влияет на потребляемое количество продукта, восприятие текстуры, интенсивность вкуса [26]. Значений вязкости каш для различных групп потребителей не установлено, но для детских каш оптимальным диапазоном для данного показателя является 2,5...3,0 Па·с [27]. Динамическая вязкость суспензий помолов экструдатов с добавлением ферментолизата жмыха брусники, имитирующих заваривание каш мгновенного приготовления в бытовых условиях горячей водой, с увеличением влагосодержания при экструзии значимо растет с 2,0 до 4,0 Па·с.

Таблица 4 – Гидратационные и реологические характеристики экструдатов /  
Table 4 – Hydration and rheological characteristics of extrudates

Образец / Sample	Рисовая крупа / Broken rice		Рисовая крупа с добавлением 5 % ферментализата брусники / Broken rice with 5 % lingonberry pomace hydrolysate		
	15	21	15	18	21
Влагосодержание экструдруемой смеси, % / Moisture during extrusion, %					
Растворимость, % / Water solubility, %	89,0±2,0 <sup>a</sup>	78,0±3,0 <sup>b</sup>	92,5±1,5 <sup>a</sup>	83,5±1,5 <sup>b</sup>	73,0±1,0
Влагоудерживающая способность, г/г / Water absorption index, g/g	2,1±0,1 <sup>a</sup>	3,6±0,2	1,90±0,08 <sup>ab</sup>	1,80±0,08 <sup>b</sup>	2,30±0,02
Динамическая вязкость суспензии, Па·с / Extrudate suspension dynamical viscosity, Pa·s	2,5±0,1	3,4±0,1 <sup>a</sup>	2,0±0,1	3,1±0,2 <sup>a</sup>	4,0±0,1

Примечание: Различия между значениями, обозначенными одинаковыми буквенными индексами, в каждой строке статистически незначимы при  $p < 0,05$  /

Note: Means followed by the same letters within a row are not significantly different at  $p < 0.05$

Установлено, что экструзия значительно повышает содержание фенольных веществ в экструдатах с ферментализатом жмыха брусники, максимальное увеличение соответствует режимам с низким влагосодержанием. На рисунке 2 представлена диаграмма изменения содержания фенольных веществ в исследуемых образцах. Минимальной влажности 15 % соответствует содержание 679,6 мг/кг, максимальной 21 % – 223,1 мг/кг, в смеси без экструдирования – 108,2 мг/кг. Экструдирование смесей с добавлением гидролизата жмыха брусники при влагосодержании 15 % обеспечило увеличение содержания фенольных соединений в 6,3 раза. Литературные данные по влиянию экструзии на фенольные соединения на примере жмыха и экстракта аронии черноплодной показывают отсутствие значимого изменения общего содер-

жания фенольных веществ после экструзии относительно смеси перед экструдированием [28, 29]. Режимные параметры экструзии не влияли на содержание процианидинов и гидроксикоричных кислот. При исследовании влияния дозировки ягод брусники на сохранность фенолов в процессе экструзии показано, что с повышением содержания ягод в рецептуре потери фенольных соединений в результате экструдирования увеличиваются с 9 до 55 % [30]. Эффект значимого роста количества фенольных веществ в экструдатах с гидролизатами жмыхов может быть объяснен синергизмом действия ферментных систем на клеточные стенки жмыха с последующей деструкцией клеточного матрикса в процессе комплексного гидро-термомеханического воздействия в процессе экструзии.

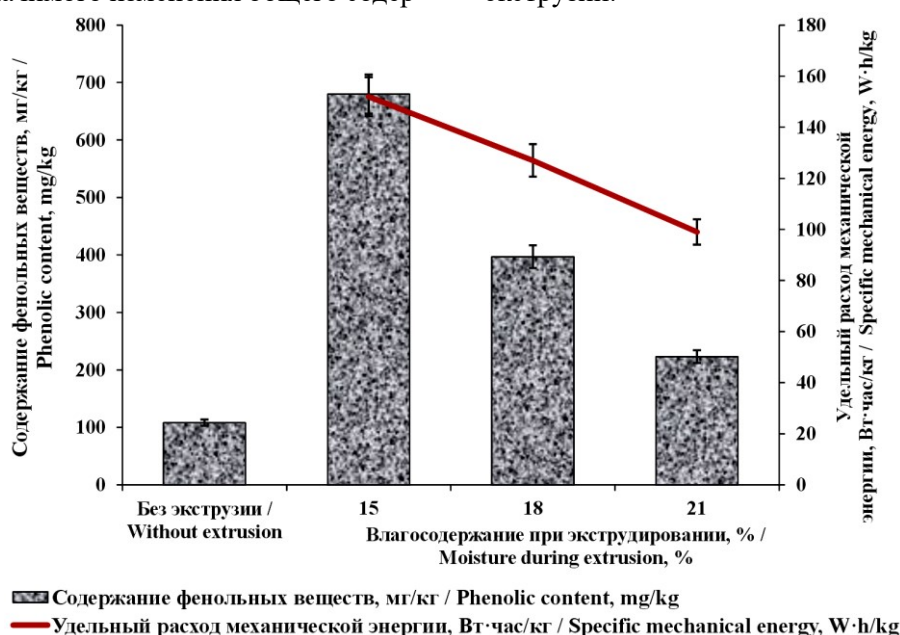


Рис. 2. Содержание фенольных веществ в экструдатах с ферментализатами жмыхов брусники в зависимости от влагосодержания смеси и уровня гидротермомеханического воздействия в процессе экструзии /

Fig. 2. The effect of moisture and specific mechanical energy on the content of phenolic substances in extrudates with lingonberry pomace hydrolysates



**Заключение.** Проведенные исследования показали, что влагосодержание в процессе экструзии является значимым фактором изменения физико-химических, структурно-механических и технологических показателей экструдатов смесей рисовой крупы с ферментолитами жмыхов брусники. Экструзия на низком уровне влагосодержания позволяет получать продукты с более развитой пористой структурой, меньшей твердостью, правильной формы с небольшой насыпной плотностью, что отвечает технологическим требованиям к снекам, сухим завтракам. Высокое влагосодержание при экструдировании обеспечивает повышение влагоудерживающих свойств экструдатов, большую динамическую вязкость их суспензий. Помолы таких экструдатов целесообразно

использовать в качестве ингредиентов в рецептурах инстант-продуктов, каш быстрого приготовления. Сниженному влагосодержанию и, как следствие, повышенному термомеханическому воздействию на перерабатываемую смесь соответствует значительное повышение содержания фенольных соединений в экструдатах. Полученные данные можно использовать при разработке специализированных пищевых продуктов, направленных на регуляцию защитно-адаптационного потенциала организма.

Таким образом, режимы экструзии, определяемые изменением влагосодержания, позволяют моделировать физико-химические, структурно-механические и реологические характеристики при разработке экструдированных продуктов и инстант-продуктов на их основе.

### References

1. Brennan M. A., Derbyshire E., Brennan C. S., Tiwari B. K. Impact of dietary fibre-enriched ready to eat extruded snacks on the postprandial glycaemic response of non-diabetic patients. *Molecular Nutrition and Food Research*. 2012;56(5):834–837. DOI: <https://doi.org/10.1002/mnfr.201100760>
2. Brennan M. A., Derbyshire E. J., Tiwari B. K., Brennan C. S. Ready-to-eat snack products: The role of extrusion technology in developing consumer acceptable and nutritious snacks. *International Journal of Food Science and Technology*. 2013;48(5):893–902. DOI: <https://doi.org/10.1111/ijfs.12055>
3. Santos D., Lopes S., Pintado J. Fruit and vegetable by-products' flours as ingredients A review on production process, health benefits and technological functionalities. *LWT – Food Science and Technology*. 2021;154:112707. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112707>
4. Iqbal A. S., Shulz P., Rizvi S. Valorization of bioactive compounds in fruit pomace from agro-fruit industries: Present Insights and future challenges. *Food Bioscience*. 2021;44(Part A):101384. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101384>
5. Mäkilä L., Laaksonen O., Ramos-Diaz J. M., Vahvaselkä M., Myllymäki O., et al. Exploiting blackcurrant juice press residue in extruded snacks. *LWT – Food Science and Technology*. 2014;57(2):618–627. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.02.005>
6. White B. L., Howard L. R., Prior R. L. Polyphenolic composition and antioxidant capacity of extruded cranberry pomace. *Journal of agricultural and food chemistry*. 2010;58(7):4037–4042. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf902838b>
7. Höglund E., Eliasson L., Oliveira G., Almli V., Sozer N., Alminger M. Effect of drying and extrusion processing on physical and nutritional characteristics of bilberry press cake extrudates. *LWT – Food Science and Technology*. 2018;92:422–428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.042>
8. Wang S., Gu B. J., Ganjyal G. M. Impacts of the Inclusion of Various Fruit Pomace Types on the Expansion of Corn Starch Extrudates. *LWT – Food Science and Technology*. 2019;110:223–230. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.03.094>
9. Majerska J., Michalska A., Figiel A. A review of new directions in managing fruit and vegetable processing by-products. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;88:207–219. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.03.021>
10. Волкова Г. С., Соколова Е. Н., Ионов В. В., Юраскина Т. В., Серба Е. М. Перспективные направления переработки ягодного жмыха в пищевые ингредиенты. *Пищевая промышленность*. 2023;(11):35–39. DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.11.11.008> EDN: QTHCOG
11. Volkova G. S., Sokolova E. N., Ionov V. V., Yuraskina T. V., Serba E. M. Prospective directions of berry cake processing into food ingredients. *Pishchevaya promyshlennost' = Food Industry*. 2023;(11):35–39. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.52653/PPI.2023.11.11.008>
12. Kitryte V., Kraujalienė V., Šulniūtė V., Pukalskas A., Venskutonis R. Chokeberry pomace valorization into food ingredients by enzyme-assisted extraction: Process optimization and product characterization. *Food and Bioprocess Processing*. 2017;105:36–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2017.06.001>
13. Roda-Serrat M. C., Lundsfryd C., Rasmussen S., El-Houri R., Lund P. B., Christensen K. V. Enzyme-assisted extraction and ultrafiltration of value-added compounds from sour cherry wine pomace. *Chemical Engineering Transactions*. 2019;74:811–816. DOI: <https://doi.org/10.3303/CET1974136>
14. Saad N., Louvet F., Tarrade S., Meudec E., Grenier K., Landolt C., Ouk T. S., Bressollier P. Enzyme-Assisted Extraction of Bioactive Compounds from Raspberry (*Rubus idaeus* L.) Pomace. *Journal of Food Science*. 2019;84(6):1371–1381. DOI: <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14625>

14. Syrpas M., Valanciene E., Augustiniene E., Malys N. Valorization of Bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) Pomace by Enzyme-Assisted Extraction: Process Optimization and Comparison with Conventional Solid-Liquid Extraction. *Antioxidants*. 2021;10(5):773. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox10050773>
15. Fierascu R. C., Fierascu I., Avramescu S. M., Sieniawska E. Recovery of Natural Antioxidants from Agro-Industrial Side Streams through Advanced Extraction Techniques. *Molecules*. 2019;24(23):4212. DOI: <https://doi.org/10.3390/molecules24234212>
16. Koch W. Dietary Polyphenols-Important Non-Nutrients in the Prevention of Chronic Noncommunicable Diseases. A Systematic Review. *Nutrients*. 2019;11(5):1039. DOI: <https://doi.org/10.3390/nu11051039>
17. Fernandes A., Mateus N., De Freitas V. Polyphenol-Dietary Fiber Conjugates from Fruits and Vegetables: Nature and Biological Fate in a Food and Nutrition Perspective. *Foods*. 2023;12(5):1052. DOI: <https://doi.org/10.3390/foods12051052>
18. Kostka T., Ostberg-Potthoff J. J., Stärke J., Guigas C., Matsugo S., Mirčeski V., et al. Bioactive Phenolic Compounds from Lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.): Extraction, Chemical Characterization, Fractionation and Cellular Antioxidant Activity. *Antioxidants*. 2022;11(3):467. DOI: <https://doi.org/10.3390/antiox11030467>
19. Лютикова М., Ботиров Е. Химический состав и практическое применение ягод брусники и клюквы (обзорная статья). *Химия растительного сырья*. 2015;(2):5–27. DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429> EDN: VCLMXZ
- Lyutikova M., Botirov E. The chemical composition and the practical application of berries cranberries and cranberry. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* = Chemistry of plant raw material. 2015;(2):5–27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.14258/jcprm.201502429>
20. Kitrytė V., Kavaliauskaitė A., Tamkutė L., Pukalskienė M., Syrpas M., Rimantas Venskutonis P. Zero waste biorefining of lingonberry (*Vaccinium vitis-idaea* L.) pomace into functional ingredients by consecutive high pressure and enzyme assisted extractions with green solvents. *Food chemistry* 2020;322:126767. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126767>
21. Brito A. D. C., Jisaka J. S., Pereira A. C. R., Steel C. J. Thermoplastic extrusion technology as a tool for adding value to brewer's by-products. *LWT – Food Science and Technology*. 2023;189:115487. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115487>
22. Carvalho C. W. P., Takeiti C. Y., Onwulata C. I., Pordesimo L. O. Relative effect of particle size on the physical properties of corn meal extrudates: Effect of particle size on the extrusion of corn meal. *Journal of Food Engineering*. 2010;98(1):103–109. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2009.12.015>
23. Muñoz-Pabon K. S., Parra-Polanco A. S., Roa-Acosta D. F., Hoyos-Concha J. L., Bravo-Gomez J. E. Physical and paste properties comparison of four snacks produced by high protein quinoa flour extrusion cooking. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2022;(6):852224. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2022.852224>
24. Yu H., Liu H., Erasmus S. W., Zhao S., Wang Q., van Ruth S. M. An explorative study on the relationships between the quality traits of peanut varieties and their peanut butters. *LWT – Food Science and Technology*. 2021;151:112068. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112068>
25. Денисенко Т. А., Вишник А. Б., Цыганок Л. П. Спектрофотометрическое определение суммы фенольных соединений в растительных объектах с использованием хлорида алюминия, 18-молибдодифосфата и реактива Фолина-Чокальтеу. *Аналитика и контроль*. 2015;19(4):373–380. DOI: <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012> EDN: VCMINN
- Denisenko T. A., Vishnikin A. B., Tsyganok L. P. Spectrophotometric determination of phenolic compounds sum in plants using aluminum chloride, 18-molybdodiphosphate and Folin-Ciocalteu reagents. *Analitika i kontrol'*. 2015;19(4):373–380. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15826/analitika.2015.19.4.012>
26. Mburu M. W., Gikonyo N. K., Kenji G. M., Mwasaru A. M. Properties of a complementary food based on amaranth grain (*Amaranthus cruentus*) grown in Kenya. *Journal of Agriculture and Food Technology*. 2011;1(9):153–178.
27. Akande O. A., Nakimbugwe D., Mukisa I. M. Optimization of extrusion conditions for the production of instant grain amaranth-based porridge flour. *Food Science & Nutrition*. 2017;(5):1205–1214. DOI: <https://doi.org/10.1002/fsn3.513>
28. Schmid V., Mayer-miebach E., Behnlian D., Briviba K., Karbstein H. P., Emin M. A. Enrichment of starch-based extruded cereals with chokeberry (*Aronia melanocarpa*) pomace: Influence of processing conditions on techno-functional and sensory related properties, dietary fibre and polyphenol content as well as *in vitro* digestibility. *LWT – Food Science and Technology*. 2021;154(4):112610. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112610>
29. Hirth M., Preiß R., Mayer-Miebach E., Schuchmann H. P. Influence of HTST extrusion cooking process parameters on the stability of anthocyanins, procyanidins and hydroxycinnamic acids as the main bioactive chokeberry polyphenols. *LWT – Food Science and Technology*. 2015;62(1-Part 2):511–516. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2014.08.032>
30. Шариков А. Ю., Соколова Е. Н., Амелякина М. В., Поливановская Д. В., Серба Е. М. Использование брусники в экструдированных продуктах, готовых к употреблению. *Хранение и переработка сельхозсырья*. 2022;(4):191–200. DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379> EDN: MPFZHK
- Sharikov A. Yu., Sokolova E. N., Amelyakina M. V., Polivanovskaya D. V., Serba E. M. The use of cranberries in extruded products ready for consumption. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya* = Storage and Processing of Farm Products. 2022;(4):191–200. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36107/spfp.2022.379>

*Сведения об авторах*

**Шариков Антон Юрьевич**, кандидат техн. наук, заведующий отделом оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., д. 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

**Иванов Виктор Витальевич**, кандидат техн. наук, ведущий научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., д. 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

✉ **Амелякина Мария Валентиновна**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела оборудования пищевых производств и мембранных технологий, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., д. 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: [foodbiotech@ya.ru](mailto:foodbiotech@ya.ru)

**Соколова Елена Николаевна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., д. 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

**Ионов Владислав Витальевич**, аспирант, инженер-технолог отдела биотехнологии ферментов, дрожжей, органических кислот и БАД, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., д. 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-8707>

**Серба Елена Михайловна**, член-корреспондент РАН, зам. директора по науке, Всероссийский научно-исследовательский институт пищевой биотехнологии – филиал ФГБУН «Федеральный исследовательский центр питания, биотехнологии и безопасности пищи», Самокатная ул., д. 4-б, г. Москва, Российская Федерация, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

*Information about the authors*

**Anton Yu. Sharikov**, PhD in Engineering, Head of the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, All-Russian Research Institute of Food Biotechnology – branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9483-5209>

**Viktor V. Ivanov**, PhD in Engineering, Leading Researcher at the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6492-7070>

✉ **Maria V. Amelyakina**, PhD in Engineering, Senior Researcher at the Department of Food Production Equipment and Membrane Technologies, The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5138-6746>, e-mail: [foodbiotech@ya.ru](mailto:foodbiotech@ya.ru)

**Elena N. Sokolova**, PhD in Biology, Leading Researcher of the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6084-7786>

**Vladislav V. Ionov**, postgraduate student, Process Engineer of the Department of Biotechnology of Enzymes, Yeast, Organic Acids and Dietary Supplements, The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7383-8707>

**Elena M. Serba**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Deputy Director for Science, The All-Russian Research Institute of Food Biotechnology is a branch of the Federal Research Center for Nutrition, Biotechnology and Food Safety, Samokatnaya str., 4-B, Moscow, Russian Federation, 111033, e-mail: [4953624495@mail.ru](mailto:4953624495@mail.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1660-2634>

✉ – Для контактов / Corresponding author

ЗЕМЛЕДЕЛИЕ, АГРОХИМИЯ, МЕЛИОРАЦИЯ /  
AGRICULTURE, AGROCHEMISTRY, LAND IMPROVEMENT<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080>

УДК 631.433.3

**Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья**© 2024. Е. А. Дёмин , С. С. Миллер

ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», г. Тюмень, Российская Федерация

Мировое сообщество в настоящее время решает несколько взаимосвязанных проблем глобального изменения климата и продовольственной безопасности. Основополагающим в решении этих проблем является углерод, входящий в состав наиболее активных парниковых газов, а также гумусовых веществ, которые являются основой плодородия пашни. Для выполнения принятой концепции «4 промилле» необходимо найти решения для увеличения поглощения органического углерода пахотными почвами и подобрать оптимальные элементы системы земледелия для конкретных почвенно-климатических условий. Цель исследования – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы 2023 г. в условиях Тюменской области (лесостепная зона Зауралья). Схема опыта: контроль (естественный уровень питания) и варианты с дозами  $N_{95}P_{46}$ ,  $4,0\text{ т/га}$  ( $N_{153}P_{94}$ );  $5,0\text{ т/га}$  ( $N_{211}P_{142}$ ) и  $6,0\text{ т/га}$  ( $N_{270}P_{190}$ ). Измерение эмиссии диоксида углерода проводили камерным методом с помощью инфракрасного газоанализатора AZ77535. Перед уборкой отбирали снопы для определения выхода соломы в 4-кратном повторении с  $1\text{ м}^2$ , после уборки – почву для определения количества корневых и пожнивных остатков (КПО) по методу Н. З. Станкова. В дальнейшем в растительных остатках определяли содержание органического углерода ( $C_{org}$ ) по ГОСТ 27980. За вегетацию в посевах яровой пшеницы без использования удобрений эмиссия углерода составила около  $2400\text{ кг/га}$ . Внесение минеральных удобрений увеличивало продуцирование диоксида углерода на 28–73% относительно контроля. Отмечено, что каждые  $10\text{ кг/га}$  в. минеральных удобрений повышали эмиссию углерода на  $40,6\text{ кг/га}$  в пересчете на чистый углерод. Удобрения в дозах  $N_{95-153}P_{46-94}$  не оказали влияния на содержание  $C_{org}$  в соломе яровой пшеницы. Использование более высоких доз минеральных удобрений привело к снижению этого показателя на 0,8 %. Не отмечено достоверного влияния минеральных удобрений на содержание  $C_{org}$  в КПО, значения которого варьировали от 41,3 до 42,0 % сухого вещества. Возврат органического углерода в почву с растительными остатками в контроле достиг  $2,2\text{ т/га}$ , на удобренных вариантах данный показатель повысился до  $2,8-3,8\text{ т/га}$ . При отказе от применения удобрений в почве наблюдается отрицательный баланс углерода – потери  $C_{org}$  за год исследования составили  $196\text{ кг/га}$ . Внесение удобрений в дозах от  $N_{95}P_{46}$  до  $N_{153}P_{94}$  обеспечило прирост  $C_{org}$  в почве в размере  $93-96\text{ кг/га}$  за период исследования. Внесение удобрений в дозах свыше  $N_{211}P_{142}$  привело к отрицательному балансу  $C_{org}$  в почве – потери достигали  $188-350\text{ кг/га}$ .

**Ключевые слова:** диоксид углерода, дозы удобрений, солома, корневые и пожнивные остатки, баланс углерода**Благодарности:** работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 23-76-10005, <https://rscf.ru/project/23-76-10005/>

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.**Для цитирования:** Дёмин Е. А., Миллер С. С. Влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1069–1080. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080>

Поступила: 12.06.2024

Принята к публикации: 03.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

**The influence of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals**© 2024. Evgeniy A. Demin , Stanislav S. Miller

Northern Trans-Urals State Agricultural University, Tyumen, Russian Federation

The global community is currently solving several interconnected problems of global climate change and food security. The key to solving these problems is carbon, which is one of the most active greenhouse gases, as well as humic substances, which are the basis of arable land fertility. To implement the adopted "4 ppm" concept, it is necessary to find solutions to increase the absorption of organic carbon by arable soils and select the optimal elements of the farming system for specific



soil and climatic conditions. The objective of the study was to study the effect of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in 2023 in the Tyumen Region (forest-steppe zone of the Trans-Urals). The scheme of the experiment: control (natural nutrition level) and variants with doses of NP fertilizers calculated for the planned yield: 3.0 t/ha ( $N_{95}P_{46}$ ); 4.0 t/ha ( $N_{153}P_{94}$ ); 5.0 t/ha ( $N_{211}P_{142}$ ) and 6.0 t/ha ( $N_{270}P_{190}$ ). Carbon dioxide emissions were measured using a chamber method and an AZ77535 infrared gas analyzer. Before harvesting, sheaves were sampled to determine the straw yield in 4-fold repetitions per 1 m<sup>2</sup>, after harvesting – soil to determine the amount of root and stubble residues (RCR) using the method of N. Z. Stankov. Subsequently, the organic carbon content in plant residues was determined according to GOST 27980. During the growing season, carbon emissions in spring wheat crops without the use of fertilizers amounted to about 2400 kg/ha. The application of mineral fertilizers increased carbon dioxide production by 28–73 % relative to the control. It was noted that every 10 kg/ha active ingredient of mineral fertilizers increased carbon emission by 40.6 kg/ha in terms of pure carbon. Fertilizers in doses of  $N_{95}P_{46}$ – $N_{153}P_{94}$  did not affect the  $C_{org}$  content in spring wheat straw. The use of higher doses of mineral fertilizers led to a decrease in this indicator by 0.8 %. No reliable effect of mineral fertilizers on the  $C_{org}$  content in RCR was noted, the values of which varied from 41.3 to 42.0 % of dry matter. The return of organic carbon to the soil with plant residues in the control reached 2.2 t/ha, in the fertilized variants this indicator increased to 2.8–3.8 t/ha. When refusing to use fertilizers, a negative carbon balance is observed in the soil –  $C_{org}$  losses over the year of study amounted to 196 kg/ha. Fertilizer application at doses from  $N_{95}P_{46}$  to  $N_{153}P_{94}$  provided an increase in  $C_{org}$  in the soil of 93–96 kg/ha over the study period. Fertilizer application at doses above  $N_{211}P_{142}$  led to a negative balance of  $C_{org}$  in the soil – losses reached 188–350 kg/ha.

**Keywords:** carbon dioxide, doses of fertilizers, straw, root and crop residues, carbon balance

**Acknowledgments:** the research was carried out under the support of Russian Science Foundation No. 23-76-10005, <https://rscf.ru/en/project/23-76-10005/>

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

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

**For citation:** Demin E. A., Miller S. S. The influence of increasing doses of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1069–1080. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1069-1080>

Received: 12.06.2024

Accepted for publication: 03.12.2024

Published online: 25.12.2024

В настоящее время перед мировым сообществом стоит несколько глобальных проблем, одна из которых – изменение климата, вторая – продовольственная безопасность населения [1]. Обе эти проблемы непосредственно связаны с собой круговоротом углерода в системе почва – растения – атмосфера.

Основными источниками изменения климата, по мнению ученых, являются парниковые газы [2], к одним из них относится диоксид углерода, который под действием почвенных микроорганизмов и в результате сложных биохимических процессов, а также дыхания корневой системы поступает из почвы в атмосферу [3]. В результате процесса фотосинтеза углерод, находящийся в структуре углекислого газа, переходит в части растений. В дальнейшем растительные остатки поступают в почву, и органический углерод трансформируется в гумусовые вещества, которые являются основой плодородия пахотных почв [4]. По мнению некоторых исследователей, доля сельского хозяйства в общемировых выбросах диоксида углерода очень значительная и составляет около 45 % [5, 6]. Однако в сельском хозяйстве существует реальная возможность снижения выбросов углекислого газа и увеличения поступления органического углерода с растительными остатками, позволяющими получать положительный баланс углерода при подборе соответствующей технологии карбонового земледелия.

В связи с этим была разработана и принята концепция «4 промилле» на заседании ООН. Данный документ предлагает увеличивать запасы органического углерода во всех пахотных почвах мира на 0,4 % в год [7], что должно полностью исключить негативное влияние парниковых газов на климат. Дополнительная задача, которая решается в данной концепции – это улучшение плодородия пашни и обеспечение продовольственной безопасности населения. Однако некоторые исследователи считают, что в настоящее время нет единой технологии, позволяющей выполнить данную программу в связи с различными почвенно-климатическими условиями. Ученые отмечают, что концепция «4 промилле» в настоящее время призывает мировое сообщество к изучению влияния различных агротехнических приемов на баланс органического углерода в пахотных почвах различных агроклиматических зон [8, 9].

Интенсивно развивающееся сельское хозяйство широко использует средства химизации и минеральные удобрения, которые как показывают исследования, существенно влияют на активность почвенной биоты, интенсивность эмиссии и секвестрации углерода [10, 11]. В связи с этим изучение проблемы баланса органического углерода в пахотных почвах является своевременной.



**Цель исследования** – изучить влияние возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья.

**Научная новизна** – впервые в условиях лесостепной зоны Зауралья проведен комплексный опыт по изучению влияния минеральных удобрений на баланс  $C_{орг}$  в посевах яровой пшеницы. Определено влияние различных доз минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа и количество поступающего  $C_{орг}$  с растительными остатками в посевах яровой пшеницы. Установлены корреляционно-регрессионные связи влияния минеральных удобрений на эмиссию углекислого газа, образования растительных остатков и поступления органического углерода с побочной продукцией.

**Материал и методы.** Исследования проводили в 2023 г. на базе стационара кафедры почвоведения и агрохимии ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», заложенного с 1995 г. на территории лесостепной зоны Тюменской области.

Опытный участок представлен черноземом выщелоченным, маломощным тяжелосуглинистым, имеющим основные агрохимические характеристики: органическое вещество –  $7,5 \pm 0,3$  % (ГОСТ 26213-2021<sup>1</sup>); обменная кислотность –  $5,6 \pm 0,1$  ед. pH (ГОСТ Р 58594-2019<sup>2</sup>); содержание подвижных форм фосфора –  $60 \pm 12$  мг/кг и калия –  $160 \pm 20$  мг/кг (ГОСТ 26204-91<sup>3</sup>).

Опыт включал варианты:

1. Контроль – естественный уровень питания.
2. NPK на планируемую урожайность 3 т/га зерна –  $N_{95}P_{46}$ .
3. NPK – на 4 т/га зерна –  $N_{153}P_{94}$ .
4. NPK – на 5 т/га зерна –  $N_{211}P_{142}$ .
5. NPK – на 6 т/га зерна –  $N_{270}P_{190}$ .

Повторение опыта 4-кратное. Опытные и учетные делянки имели размер 100 и 50 м<sup>2</sup> соответственно.

Районированный сорт яровой пшеницы Тюменская юбилейная возделывали в зерновом севообороте (однолетние травы – яровая пшеница – овес) с рекомендованной для северной лесостепи нормой высева 6,0 млн всхожих семян на гектар.

Система земледелия за годы исследований не менялась и была традиционной для зоны северной лесостепи. Предусматривалось осенью после уборки предшественника проведение отвальной обработки почвы на глубину 20–22 см. Весной проводили боронование в два следа. В дальнейшем вносили расчётные дозы минеральных удобрений на планируемую урожайность (аммиачная селитра  $N_{34}$  и аммофос  $N_{12}:P_{52}$ ) методом взвешивания в почву сеялкой СЗП-3,6. Почву культивировали (КПС-4), проводили посев (СЗМ-5,4) и прикатывание. Урожай убирали 22 сентября методом прямого комбайнирования.

Замеры продуцирования углекислого газа проводили через каждые 10–16 суток газовым анализатором диоксида углерода AZ77535. Для этого с участка почвы срезали растения и на их место устанавливали герметичные сосуды с клапаном фиксированного объема и площади, закопанные на 2 см в глубину для предотвращения потерь  $CO_2$ . По истечении суток через герметичный клапан проводили замер концентрации  $CO_2$ . Методом пересчета, с учетом содержания  $CO_2$  в атмосфере, устанавливали эмиссию диоксида углерода с гектара, а также потери углерода из почвы в сутки. Перед уборкой отбирали снопы для определения выхода соломы в 4-кратном повторении с 1 м<sup>2</sup>, после уборки – почву для определения количества корневых и пожнивных остатков (КПО) по методу Н. З. Станкова. Для этого отбирали слой почвы глубиной 30 см с 0,25 м<sup>2</sup> в 4-кратном повторении, который в дальнейшем промывали водой через сито с ячейками 0,25 мм. Далее образцы растительного материала высушивали и устанавливали содержание органического углерода по аттестованной методике (ГОСТ 27980-88<sup>4</sup>). Затем расчетным методом определяли баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы. Более подробно методика исследований описана в ранее опубликованных работах [12, 13]. Статистическую обработку данных проводили дисперсионным методом по Б. А. Доспехову с использованием пакетной надстройки AgCStat для программного обеспечения Microsoft Excel.

<sup>1</sup>ГОСТ 26213-2021. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Российский институт стандартизации, 2021. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/758/75803.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ Р 58594-2019. Почвы. Методы определения обменной кислотности. М.: Стандартинформ, 2019. 9 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data/719/71986.pdf>

<sup>3</sup>ГОСТ 26204-91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Чирикова в модификации ЦИНАО. М.: изд-во стандартов, 1992. 8 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294828/4294828276.pdf>

<sup>4</sup>ГОСТ 27980-88. Удобрения органические. Методы определения органического вещества. М.: изд-во стандартов, 1989. 11 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294826/4294826787.pdf>

Погодные условия 2023 г. существенно отличались от среднесезонных значений повышенной температурой воздуха на протяжении всего периода исследований и неравномерным распределением осадков [12].

**Результаты и их обсуждение.** В начале развития яровой пшеницы (11.05), минеральные удобрения в дозах до  $N_{211}P_{142}$ , внесенные перед посевом не оказывали достоверного влияния на эмиссию углерода из почвы, где суточное продуцирование варьировало от 10,2 до 10,8 кг/га при  $HCP_{05} = 0,7$  кг/га. Это связано с тем, что внесенные перед посевом удобрения не успели полностью раствориться и не оказывали

стимулирующего действия на микробиоту, участвующую в почвенном газообмене. Яровая пшеница в это время находится на начальном этапе развития и уровень питания не влиял на массу корневой системы, которая участвует в процессе дыхания почвы (табл. 1). В варианте с максимальной дозой ( $N_{270}P_{190}$ ) отмечено увеличение продуцирования углерода до 11,3 кг/га, которое объясняется длительным использованием растениями высоких доз удобрений, что при неполучении планируемой урожайности приводит к накоплению питательных веществ в почве и усилению активности почвенной микробиоты.

**Таблица 1 – Влияние различных доз минеральных удобрений на динамику эмиссии диоксида углерода из почвы в посевах яровой пшеницы, кг/га в сутки (2023 г.) /**

**Table 1 – The effect of different doses of mineral fertilizers on the dynamics of carbon dioxide emissions from soil in spring wheat crops, kg/ha per day (2023)**

Вариант	11.05	25.05	10.06	24.06	10.07	24.07	09.08	24.08	05.09	19.09	04.10	17.10
Контроль – без удобрений / Control – without fertilizers	10,2	16,6	18,5	19,1	22,9	25,4	14,7	11,4	9,6	8,3	5,5	2,5
$N_{95}P_{46}$	10,5	17,6	19,8	24,3	26,5	27,4	20,0	13,0	9,8	8,6	5,7	2,5
$N_{153}P_{94}$	10,5	18,6	21,2	30,2	31,0	31,7	23,9	15,8	10,0	9,0	6,0	2,6
$N_{211}P_{142}$	10,8	22,3	26,2	36,6	41,0	42,8	28,5	20,7	11,6	11,3	8,2	2,8
$N_{270}P_{190}$	11,3	23,4	27,4	38,7	43,7	44,1	28,9	23,2	15,3	13,8	10,0	3,1
$HCP_{05}$ / $LSD_{05}$	0,7	0,8	0,8	1,5	2,3	1,4	2,0	1,3	0,5	0,8	0,9	0,1

В связи с повышением температуры воздуха и прогревом почвы увеличивается активность почвенной микробиоты, а корневая система начинает интенсивно развиваться, что приводит к возрастанию продуцирования диоксида углерода. В связи с чем к 25 мая скорость эмиссии углерода в контроле увеличилась на 6,4 кг/га в сутки, что на 63 % выше предыдущих значений. На более высоком уровне питания ( $N_{95}P_{46}$ ) эти значения также были выше, чем в начале мая на 68 %, при этом относительно контроля возрастали на 1,0 кг/га, или 6 % ( $HCP_{05} = 0,8$  кг/га). Дозы удобрений, внесенные на планируемую урожайность 3,0–6,0 т/га зерна ( $N_{153}P_{94}$  и  $N_{270}P_{190}$ ), способствовали повышению эмиссии на 12–41 % относительно варианта с питательным фоном контроля и были выше предыдущих измерений на 8,1–12,1 кг/га в сутки. Увеличение эмиссии углерода из почвы в вариантах с систематическим внесением высоких доз минеральных удобрений связано с повышением содержания доступных питательных веществ в почве, которые, как показывают исследования, усиливают активность почвенной биоты и, как следствие, увеличивают эмиссию  $CO_2$  [14].

Эмиссия углерода в сутки к 10 июня увеличивалась во всех исследуемых вариантах на 11,5–17,5 % относительно предыдущих измерений. При этом суточные потери углерода при повышении доз на удобренных вариантах возрастали на 7–48 % относительно контроля и достигали 19,8–27,4 кг/га в сутки ( $HCP_{05} = 0,8$  кг/га).

Существенных изменений 24 июня относительно предыдущего измерения в варианте с естественным уровнем питания не наблюдали. На удобренных вариантах скорость эмиссии углерода повысилась на 22,8–42,4 % относительно значений 10 июня. На минеральных фонах в этот период времени скорость газообразных потерь углерода была на 5,2–19,6 кг/га, или 27–103 % выше контроля ( $HCP_{05} = 1,5$  кг/га).

К 10 июля интенсивность продуцирования  $CO_2$  в контроле повысилась на 20 % относительно предыдущих значений. На удобренных вариантах скорость эмиссии углерода была выше на 2,6–12,8 % прошлого периода измерений. С повышением доз удобрений почвенное дыхание увеличивалось до 26,5–43,7 кг/га в сутки, что выше контроля на 18–91 % ( $HCP_{05} = 2,3$  кг/га).

24 июля отмечена максимальная эмиссия углерода из почвы во всех исследуемых вариантах. В контроле она составила 25,4 кг/га в сутки, что на 11 % выше предыдущих измерений. В варианте с планируемой урожайностью 3,0 т/га зерна ( $N_{95}P_{46}$ ) за сутки продуцирование  $CO_2$  было выше на 8 %, чем в варианте с естественным питательным фоном. С дальнейшим повышением доз удобрений скорость эмиссии в этот период времени увеличилась на 25–74 % относительно контроля ( $HCP_{05} = 1,4$  кг/га). Максимально отмеченная скорость продуцирования углерода на всех исследуемых участках в этот период может быть связана с высокой активностью почвенной микробиоты в результате максимально отмеченной температуры почвы 20,7–21,4 °C за период исследования.

В дальнейшем с понижением температуры почвы до 19,0–19,5 °C отмечали тенденцию снижения скорости продуцирования  $CO_2$  во всех изучаемых вариантах. В контроле к 9 августа эмиссия углерода составила 14,7 кг/га в сутки, что на 42 % ниже предыдущих значений. На удобренных вариантах почвенное дыхание уменьшилось на 23–35 % относительно максимально отмеченных значений ( $HCP_{05} = 2,0$  кг/га).

5 сентября дыхание почвы в контроле составило 9,6 кг/га  $CO_2$  в сутки, что на 16 % ниже предыдущего периода. В вариантах с дозами  $N_{95}P_{46}$  и  $N_{153}P_{94}$ , что соответствует планируемой урожайности 3,0 и 4,0 т/га зерна, существенных отличий с контролем не отмечено, отклонения находились в диапазоне неопределенности ( $HCP_{05} = 0,5$  кг/га). Однако в вариантах с высокими дозами удобрений  $N_{211}P_{142}$  и  $N_{270}P_{190}$ , что соответствует планируемой урожайности 5,0 и 6,0 т/га зерна, эмиссия углерода была выше контроля на 21 и 59 % соответственно. Повышенная эмиссия на высокоудобренных вариантах, ориентированных на планируемую урожайность 5,0 и 6,0 т/га зерна, в этот период времени может быть связана с рядом причин. Первая причина – микрофлора, несмотря на снижение температуры почвы на удобренных вариантах, остается более активной из-за большего количества неиспользованных питательных веществ в результате не получения планируемой урожайности, что приводит к повышению интенсивности дыхания. Второй причиной является то, что на высокоудобренных вариантах остается больше органических остатков, которые подвергаются разложению и минерализации. Подобная тенденция по общему снижению скорости эмиссии диоксида углерода во всех исследуемых вариантах и более высокой скорости продуцирования углекислого газа относительно

естественного питательного фона на высокоудобренных вариантах (дозы NP на 5,0 и 6,0 т/га зерна) отмечена до 4 октября.

К 17 октября эмиссия в контроле снизилась до 2,5 кг/га в сутки. В вариантах с внесением удобрений, ориентированных на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна, достоверных отличий с контролем в скорости продуцирования  $CO_2$  в этот период времени не наблюдали ( $HCP_{05} = 0,1$  кг/га). Это может быть связано с тем, что в данных вариантах получили планируемую урожайность и питательные вещества, внесенные с удобрениями, полностью усвоились. В вариантах с внесением высоких доз ( $N_{211-270}P_{142-190}$ ) из-за неполучения планируемой урожайности неизрасходованные питательные вещества стимулировали активность почвенной биоты, что приводило к повышению эмиссии углерода до 2,8–3,1 кг/га.

Отмеченная в работе динамика повышения скорости эмиссии углерода в течение вегетации на удобренных вариантах связана с тем, что минеральные удобрения способствуют более активному набору массы корневой системы яровой пшеницы, которая участвует в процессе дыхания. Также фактором, оказывающим влияние на скорость продуцирования  $CO_2$  в вариантах с минеральным фоном, является большее количество образующихся растительных остатков в виде соломы, корневых и пожнивных остатков, которые являются источником питания для многочисленного количества почвенных микроорганизмов, участвующих в процессе минерализации органического вещества, что приводит к повышению продуцирования  $CO_2$ . Дополнительным катализатором интенсивности почвенного дыхания является то, что систематическое использование минеральных удобрений сопровождается повышением содержания питательных веществ в почве из-за нестабильного получения планируемой урожайности на высоких питательных фонах. Это приводит к увеличению численности целлюлозоразлагающей микробиоты и к интенсивности продуцирования  $CO_2$  из почвы.

Практически единственным источником поступления органического углерода в пахотные почвы являются растительные остатки. Для зернового агроценоза основной источник возврата углерода в почву – это солома, корневые и пожнивные остатки (КПО) [15,16].

В 2023 г. в посевах яровой пшеницы при отказе от использования удобрений в почву возвратилось до 2,38 т/га соломы и 2,65 т/га КПО (рис. 1). Увеличение уровня питания за счет использования минеральных удобрений

закономерно повышает качество образующейся побочной продукции в связи с более интенсивным нарастанием биомассы растений и развитием корневой системы [17]. В связи с этим использование минеральных удобрений в дозе  $N_{95}P_{46}$ , что соответствует планируемой урожайности 3,0 т/га зерна, приводило к лучшему развитию яровой пшеницы и увеличению количества образовавшихся растительных остатков

в виде соломы и КПО, сухая масса которых достигала 6,43 т/га. Соломы при этом поступало на 38 % больше ( $HCP_{05} = 0,27$ ), чем в контроле, а КПО – на 23 % ( $HCP_{05} = 0,20$ ). Количество образовавшейся соломы и КПО получено на 1,33 и 0,84 т/га больше контроля в варианте с планируемой урожайностью 4,0 т/га зерна ( $N_{153}P_{94}$ ), что практически в два раза выше, чем на естественном питательном фоне.

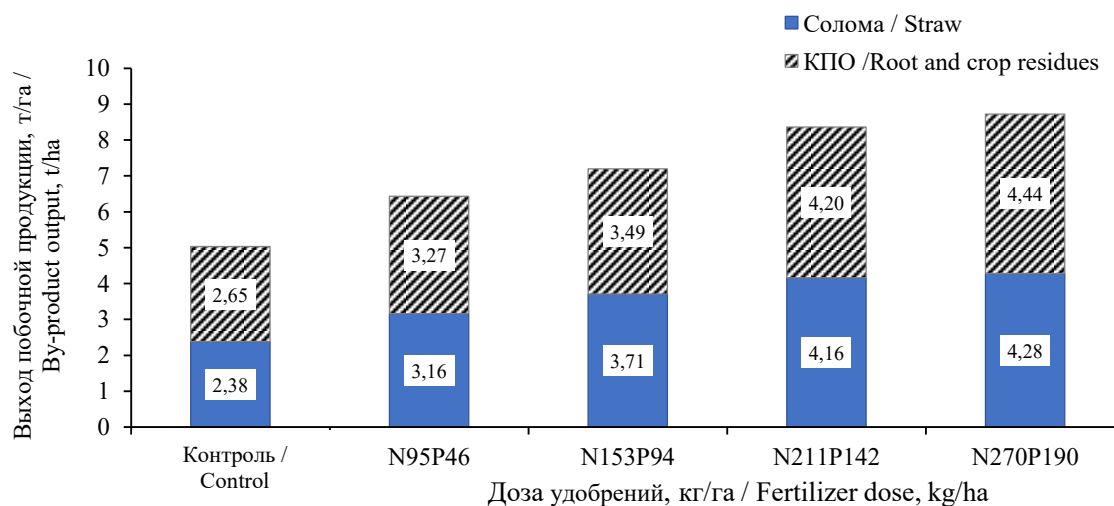


Рис. 1. Влияние различных доз минеральных удобрений на выход побочной продукции яровой пшеницы (2023 г.), т/га (солома –  $HCP_{05} = 0,27$  т/га; КПО –  $HCP_{05} = 0,20$  т/га) /

Fig. 1. The effect of different doses of mineral fertilizers on the yield of by-products of spring wheat (2023), t/ha (straw –  $LSD_{05} = 0,27$  t/ha; root and crop residues –  $LSD_{05} = 0,20$  t/ha)

Дальнейшее повышение уровня питания до  $N_{211}P_{142}$  способствовало увеличению количества образовавшихся растительных остатков на 66 % относительно контроля, при этом соломы и КПО в почву поступало на 75 и 58 % больше, чем в контроле. Высокий питательный фон обеспечил более интенсивный набор биомассы яровой пшеницы – 8,72 т/га, чуть больше половины из них приходилось на корневые и пожнивные остатки. В исследовании была отмечена высокая корреляция между суммой доз азотных, фосфорных удобрений и полученной массой соломы ( $r = 0,98$ ) и КПО ( $r = 0,99$ ). Это позволило разработать линейные уравнения, представленные в таблице 2, которые показывают, что внесение каждых 10 кг/га д. в. минеральных удобрений способствует увеличению образования общей биомассы соломы и КПО на 0,04 т/га.

Установлено, что количество органического углерода в соломе значительно выше, чем в КПО вне зависимости от исследуемых доз удобрений. В соломе контрольного варианта содержание органического углерода составило 46,6 %, в КПО концентрация  $C_{орг}$  – ниже на 5,4 % (рис. 2).

Использование доз удобрений ( $N_{95-211}P_{46-142}$ ) для получения планируемой урожайности от 3,0 до 5,0 т/га зерна яровой пшеницы не оказывало существенного влияния на содержание органического углерода в соломе, отклонения находились в диапазоне неопределенности при  $HCP_{05} = 0,7$  %. На максимальном изучаемом питательном фоне ( $N_{270}P_{190}$ ) отмечено статистически значимое снижение содержания  $C_{орг}$  в соломе до 45,8 % сухого вещества, которое может быть связано с более продолжительным периодом созревания зерна, в связи с чем в соломе остаются неизрасходованные минеральные вещества. В исследовании отмечается высокая обратная зависимость ( $r = -0,90$ ) между суммой азотных, фосфорных удобрений и содержанием  $C_{орг}$  в соломе (табл. 2). Расчеты показали, что в исследуемом году внесение каждых 100 кг/га д. в. минеральных удобрений приводит к снижению содержания  $C_{орг}$  в соломе на 0,14 %. При этом корреляция между суммой доз минеральных удобрений и содержанием  $C_{орг}$  в КПО слабая ( $r = 0,30$ ) и вариация между вариантами незначительная, не более 0,7 % ( $HCP_{05} = 1,2$  %), что не дает возможности вывести достоверное уравнение.

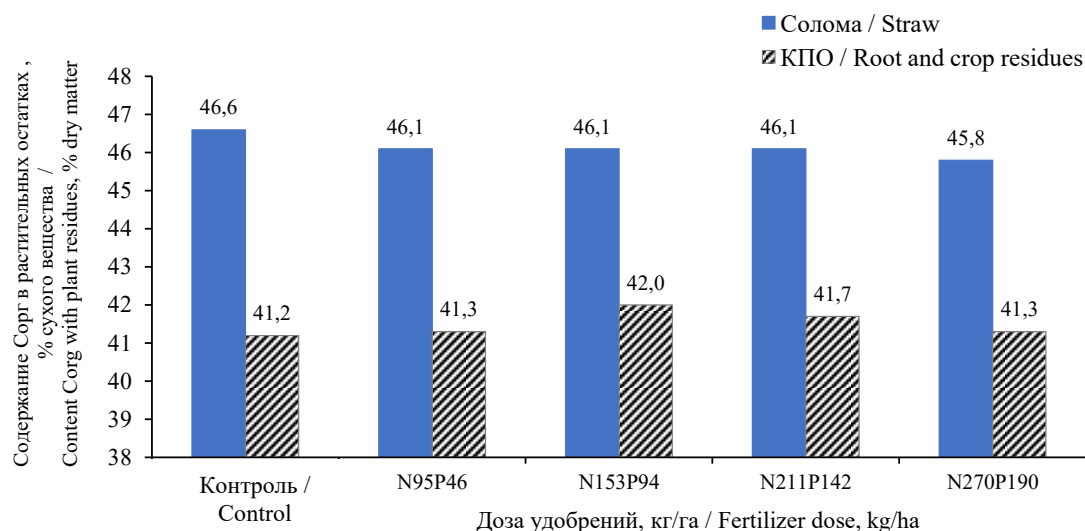


Рис. 2. Влияние различных доз минеральных удобрений на содержание органического углерода в растительных остатках яровой пшеницы (2023 г.), % сухого вещества (солома – НСР<sub>05</sub> = 0,70 %; корневые и пожнивные остатки – НСР<sub>05</sub> = 1,20 %) /

Fig. 2. The effect of different doses of mineral fertilizers on the content of organic carbon in plant residues of spring wheat (2023), % dry matter (straw – LSD<sub>05</sub> = 0.70 %; root and crop residues – LSD<sub>05</sub> = 1.20 %)

Возделывание яровой пшеницы без использования минеральных удобрений способно обеспечить возврат  $C_{орг}$  с растительными остатками в почву на уровне 2200 кг/га (рис. 3). Дополнительно внося удобрения в почву перед посевом яровой пшеницы, можно повысить количество поступающего  $C_{орг}$  в почву на 605–1593 кг/га в зависимости от используемых доз удобрений. Стоит отметить, что несмотря на

высокую биомассу КПО, удобрения в большей степени способствуют повышению количества поступающего органического углерода в почву с соломой нежели с КПО, т. к. в ней содержится больше углерода. Расчеты показали, что с соломой в почву поступает 19,3 кг/га  $C_{орг}$  при внесении 10 кг/га удобрений, с КПО – лишь 16,7 кг/га (табл. 2).

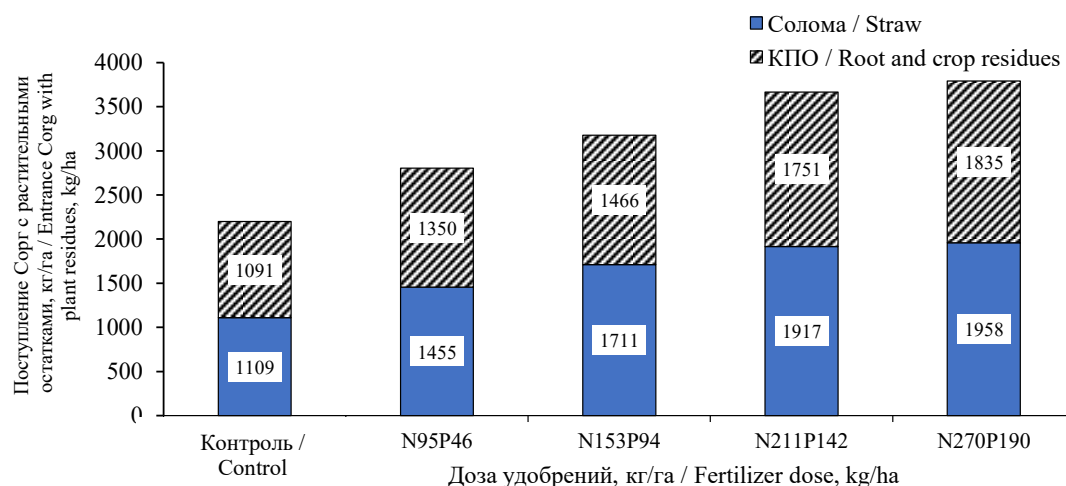


Рис. 3 Влияние минеральных удобрений на поступление органического углерода с растительными остатками яровой пшеницы (2023 г.), кг/га (солома – НСР<sub>05</sub> = 136 кг/га; корневые и пожнивные остатки – НСР<sub>05</sub> = 97 кг/га) /

Fig. 3. The effect of mineral fertilizers on the supply of organic carbon with plant residues of spring wheat (2023), kg/ha (straw – LSD<sub>05</sub> = 136 kg/ha; root and crop residues – LSD<sub>05</sub> = 97 kg/ha)

Результаты расчета баланса органического углерода показали, что плодородие чернозема выщелоченного при возделывании яровой пшеницы без внесения удобрений не способно обеспечить положительный баланс  $C_{орг}$  в почве.

Это связано с малым количеством поступающего  $C_{орг}$  с растительными остатками 2200 кг/га, в то время как эмиссия углерода составляет 2396 кг/га (рис. 4), что в 2023 году привело к потерям  $C_{орг}$  в количестве 196 кг/га (рис. 5).



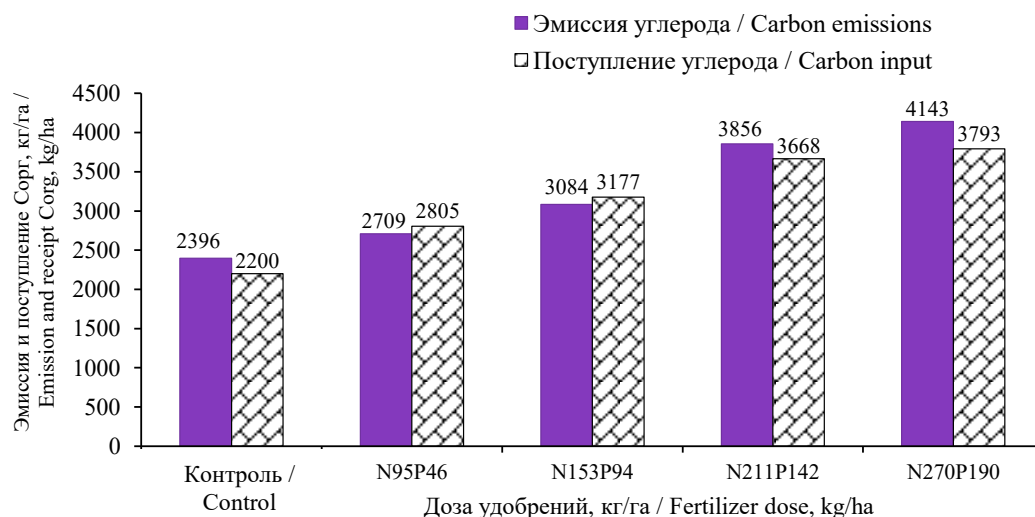


Рис. 4. Влияние минеральных удобрений на эмиссию и поступление  $C_{org}$  в посевах яровой пшеницы, кг/га (2023 г.)

Fig. 4. The effect of mineral fertilizers on the emission and intake of  $C_{org}$  in spring wheat crops, kg/ha (2023)

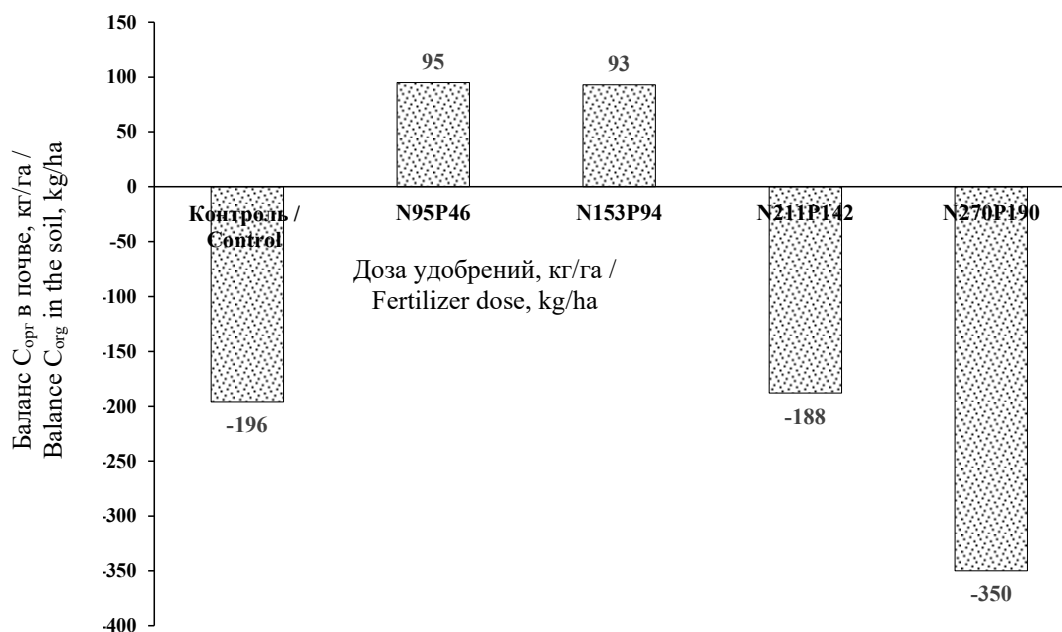


Рис. 5. Влияние минеральных удобрений на баланс органического углерода в черноземе выщелоченном при возделывании яровой пшеницы, кг/га (2023 г.) /

Fig. 5. The effect of mineral fertilizers on the balance of organic carbon in leached chernozem during the cultivation of spring wheat, kg/ha (2023)

Внесение удобрений в дозе  $N_{95}P_{46}$ , что соответствует планируемой урожайности 3,0 т/га зерна, увеличивало продуцирование углерода из почвы на 13 % относительно контроля, при этом отмечалось повышение количества, поступающего  $C_{org}$  в почву с растительными остатками на 28 % относительно контроля, что в исследуемом периоде обеспечило положительный баланс углерода в почве и увеличение его на 96 кг/га. В варианте с уровнем питания, рассчитанным на получение 4,0 т/га зерна

яровой пшеницы ( $N_{153}P_{94}$ ), также отмечается положительный баланс  $C_{org}$  в почве, где его запасы за период исследования увеличились на 93 кг/га. Это происходит по причине того, что эмиссия углерода в данном варианте повысилась лишь на 29 % (3084 кг/га) относительно контроля, а поступление  $C_{org}$  с растительными остатками возросло на 44 % (3177 кг/га).

Использование более высоких доз минеральных удобрений, рассчитанных на получение планируемой урожайности 5,0 и 6,0 т/га

зерна ( $N_{170}P_{190} - N_{211}P_{142}$ ) приводило к увеличению эмиссии углерода из почвы на 61–73 % относительно контроля. Неполучение в 2023 г. планируемого урожая из-за особенностей погодных условий привело к тому, что потенциал яровой пшеницы в образовании побочной продукции был не до конца раскрыт. В почву с растительными остатками возвратилось лишь 3668 и 3793 кг/га  $C_{орг}$ , которого не хватило для покрытия эмиссии  $CO_2$ , в результате этого за период исследования был получен отрицательный баланс  $C_{орг}$  в почве, где потери  $C_{орг}$  составили 188 и 350 кг соответственно.

В работе установлена корреляция высокой силы между суммой минеральных удобрений и эмиссией углерода ( $r = 0,98$ ). Разработанное уравнение показывает, что в период исследования повышение дозы удобрений (сумма азотных и фосфорных) на 10 кг/га в д. в. ускоряет продуцирование диоксида углерода из почвы на 40,6 кг/га в пересчете на чистый углерод. В 2023 году повышение массы внесенных азотных и фосфорных удобрений на 10 кг/га в д. в. увеличило суммарное поступление органического углерода с растительными остатками на 36,0 кг/га (табл. 2).

**Таблица 2 – Корреляционная и регрессионная связь между дозами минеральных удобрений и факторами, влияющими на баланс  $C_{орг}$  в посевах яровой пшеницы (2023 г.) /**

**Table 2– Correlation and regression relationship between doses of mineral fertilizers and factors affecting the balance of sorghum in spring wheat crops (2023)**

Фактор / Factor	$r$	$R^2$	Уравнение регрессии / regression equation
Выход соломы / Straw yield	0,98	0,96	$y = 0,0043x + 2,51$
Выход корневых и пожнивных остатков / Yield of root and crop residues	0,99	0,98	$y = 0,004x + 2,65$
Содержание $C_{орг}$ в соломе / Content of $C_{орг}$ in straw	-0,90	0,81	$y = -0,0014x + 46,49$
Содержание $C_{орг}$ в КПО / Content of $C_{орг}$ in root and crop residues	0,30	0,09	$y = 0,0006x + 41,36$
Поступление $C_{орг}$ с соломой / Intake of $C_{орг}$ with straw	0,98	0,96	$y = 1,9245x + 1167,7$
Поступление $C_{орг}$ с КПО / Intake of $C_{орг}$ with root and crop residues	0,99	0,98	$y = 1,6703x + 1097,4$
Потери $C_{орг}$ в виде $CO_2$ за вегетацию / Losses of $C_{орг}$ in the form of $CO_2$ over the vegetation	0,98	0,96	$y = 4,0609x + 2262,2$
Общее поступление $C_{орг}$ в почву с растительными остатками / Total intake of $C_{орг}$ to the soil with plant residues	0,99	0,98	$y = 3,5967x + 2264,5$

Таким образом, проведенное исследование показало, что в 2023 г. положительный баланс углерода в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья был получен лишь при использовании минеральных удобрений в определенных дозах  $N_{95-153}P_{46-94}$ .

Внесение минеральных удобрений вне диапазона приводило к отрицательному балансу органического углерода в почве. Установлено, что максимальный положительный баланс  $C_{орг}$  в почве был получен при внесении суммы азотных и фосфорных удобрений в дозе 141 кг/га д. в. Данная доза минеральных удобрений в исследуемом периоде обеспечивала максимальный положительный баланс углерода в почве (96 кг/га), который соответствует ежегодному приросту органического углерода в почве на

уровне 80–100 кг/га. Закономерные данные с подобной тенденцией были получены в других работах, проведенных в условиях лесостепной зоны Зауралья [18, 19].

**Заключение.** Проведенные исследования по изучению влияния возрастающих доз минеральных удобрений на баланс органического углерода в посевах яровой пшеницы на выщелоченном черноземе в условиях лесостепной зоны Зауралья показали, что в 2023 году минеральные удобрения в дозах до  $N_{211}P_{142}$ , внесенных перед посевом яровой пшеницы, в начале вегетации (11 мая) не оказали влияния на эмиссию углерода из почвы, где значения варьировали в узком диапазоне по вариантам от 10,2 до 10,8 кг/га. В дальнейшем продуцирование углерода повышалось к 24 июля до 25,4 кг/га

в контроле. Внесение удобрений на планируемую урожайность от 3,0 до 6,0 т/га зерна (от N<sub>95</sub>P<sub>46</sub> до N<sub>270</sub>P<sub>190</sub>) увеличивало скорость продуцирования углерода в этот период на 8–74 % относительно контроля. В дальнейшем интенсивность эмиссии углерода снижалась к 17 октября до 2,5–3,1 кг/га во всех изучаемых вариантах. Возделывание яровой пшеницы без удобрений обеспечивало поступление в почву 5,03 т/га побочной продукции в виде соломы и КПО. Минеральные удобрения способствовали увеличению образования побочной продукции более чем в 1,3–1,7 раза. Внесение удобрений не оказывало влияния на содержание C<sub>орг</sub> углерода в соломе, где значения варьировали от 46,1 до 46,6 % сухого вещества. Лишь внесение максимальной дозы содействовало снижению содержания C<sub>орг</sub> в соломе на 0,8 % относительно

контроля. Установлено, что эмиссия углерода за вегетацию повышалась на 40,6 кг/га при дополнительном внесении каждые 10 кг/га в д. в. минеральных удобрений, при этом поступление C<sub>орг</sub> в почву с растительными остатками увеличилось на 36,0 кг/га. Отказ от использования минеральных удобрений приводил к отрицательному балансу C<sub>орг</sub> в посевах яровой пшеницы, где потери за 2023 г. составили 196 кг/га. Внесение доз удобрений на планируемую урожайность 3,0 и 4,0 т/га зерна (от N<sub>95</sub>P<sub>46</sub> до N<sub>153</sub>P<sub>94</sub>) обеспечивали положительный баланс углерода в почве, где в исследуемый год прирост достигал 93–96 кг/га. Использование высоких доз удобрений для получения планируемой урожайности от 5,0 до 6,0 т/га зерна яровой пшеницы приводило к отрицательному балансу C<sub>орг</sub> – потери за 2023 г. составили 188–350 кг/га.

#### *Список литературы*

1. Национальный доклад «Глобальный климат и почвенный покров России: проявления засухи, меры предупреждения, борьбы, ликвидация последствий и адаптационные мероприятия (сельское и лесное хозяйство)». Под ред. Р. С. Х. Эдельгериева. М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. 700 с.  
DOI: <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1> EDN: MFABZG
2. Огнивцев С. Б. Использование агроэкспертных систем для оценки выбросов парниковых газов при возделывании сельскохозяйственных культур. Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2023;(10(104)):123–130. DOI: <https://doi.org/10.33938/2310-123> EDN: EVASBS
3. Суховеева О. Э. Приложение модели DNDC к оценке параметров углеродного и азотного обмена в пахотных почвах Нечерноземья. Известия Российской академии наук. Серия географическая. 2018;(2):74–85. DOI: <https://doi.org/10.7868/S2587556618020073> EDN: LBLCHR
4. Помазкина Л. В., Соколова Л. Г., Звягинцева Е. Н., Семенова Ю. В., Кириллова Н. Н. Трансформация и баланс углерода в агроэкосистемах интенсивного севооборота на агросерых почвах лесостепи Прибайкалья. Агрохимия. 2013;(4):3–10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18970396> EDN: PZDJED
5. Анфиногентова А. А., Дудин М. Н., Лясников Н. В., Проценко О. Д. Методика оценки качества деятельности предприятий АПК на основе экологически ответственного подхода. Экономика региона. 2017;13(2):579–590. DOI: <https://doi.org/10.17059/2017-2-22> EDN: YSPBDX
6. Сафин Р. И., Валиев А. Р., Колесар В. А. Современное состояние и перспективы развития углеродного земледелия в Республике Татарстан. Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021;16(3(63)):7–13. DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-7-13> EDN: ZVZFMX
7. Иванов А. Л., Столбовой В. С. Инициатива "4 промилле" - новый глобальный вызов для почв России. Бюллетень Почвенного института им. В. В. Докучаева. 2019;(98):185–202.  
DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202> EDN: GGDDKL
8. Столбовой В. С. Регенеративное земледелие и смягчение изменений климата. Достижения науки и техники АПК. 2020;34(7):19–26. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703> EDN: HOCVJH
9. Когут Б. М., Семенов В. М., Артемьева З. С., Данченко Н. Н. Дегумусирование и почвенная секвестрация углерода. Агрохимия. 2021;(5):3–13. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070> EDN: SQOUYM
10. Шулико Н. Н., Тимохин А. Ю., Хамова О. Ф., Бойко В. С., Тукмачева Е. В., Корчагина И. А., Вейнбендер А. А. Биологические и агрохимические свойства лугово-черноземной почвы Омского Прииртышья в связи с продуктивностью кормовых культур при применении минеральных удобрений. Сельскохозяйственная биология. 2024;59(1):156–173. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2024.1.156rus> EDN: CTISQB
11. Кудрявцев А. Е., Ваганов Е. С., Канунников С. В., Локтионов В. А. Факторы, определяющие секвестрацию, депонирование, эмиссию углекислого газа в агроценозах. Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2024;(1(231)):37–44. DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44> EDN: VYGPEW
12. Демин Е. А., Миллер С. С., Ахтямова А. А. Влияние минеральных удобрений и температуры почвы на эмиссию углекислого газа в посевах яровой пшеницы в условиях лесостепной зоны Зауралья. Земледелие. 2024;(1):17–22. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-1-17-22> EDN: GIWLSZ

13. Демин Е. А. Влияние минеральных удобрений на поступление органического углерода в почву с растительными остатками в посевах яровой пшеницы. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(11(39)):11. DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18> EDN: KJHVDE
14. Чернов Т. И., Семенов М. В. Управление почвенными микробными сообществами: возможности и перспективы (обзор). *Почвоведение*. 2021;(12):1506–1522. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120029> EDN: QFVIQH
15. Ахтямова А. А., Еремин Д. И. Деструкция растительных остатков на чернозёме выщелоченном. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2018;(4(72)):30–33. Режим доступа: <https://elibrary.ru/xykudr> EDN: XYKUDR
16. Сычев В. Г., Налиухин А. Н. Изучение потоков углерода и азота в длительных полевых опытах геосети с целью снижения выбросов парниковых газов и повышения депонирования диоксида углерода агроценозами. *Плодородие*. 2021;(6(123)):38–41. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.10> EDN: MALLBW
17. Абрамов Н. В. Производительность агроэкосистем и состояние плодородия почв в условиях Западной Сибири. Тюмень: ГАУ Северного Зауралья, 2013. 254 с.
18. Еремин Д. И. Гумусное состояние чернозема выщелоченного при длительном использовании минеральной системы удобрений под зерновые культуры в Северном Зауралье. *Аграрный вестник Урала*. 2010;(8(74)):35–37. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15237358> EDN: MVLKSH
19. Demin E. A. Intake and fixation of organic carbon in grain agrophytocenosis of Western Siberia. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2022; 1043(1):012027. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012027>

### References

1. National report "Global climate and soil cover of Russia: drought manifestations, prevention, control, mitigation and adaptation measures (agriculture and forestry)". *Pod red. R. S. Kh. Edel'gerieva*. Moscow: OOO «Izd-vo MBA», 2021. 700 p. DOI: <https://doi.org/10.52479/978-5-6045103-9-1>
2. Ognitsev S. B. Using agricultural expert systems for assessing greenhouse gas emissions from crop growing. *Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom khozyaystve*. 2023;(10(104)):123–130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33938/2310-123>
3. Sukhoveeva O. E. Application of the DNDC model for estimation of carbon and nitrogen exchange parameters in arable soils in Non-chernozem zone. *Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Seriya geograficheskaya*. 2018;(2):74–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7868/S2587556618020073>
4. Pomazkina L. V., Sokolova L. G., Zvyagintseva E. N., Semenova Yu. V., Kirillova N. N. Carbon transformation and budget in agroecosystems of intensive crop rotations on agrogray soils of the forest-steppe zone in the Baikal region. *Agrokhiimiya*. 2013;(4):3–10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18970396>
5. Anfinogentova A. A., Dudin M. N., Lysanikov N. V., Protsenko O. D. Methodology for assessing the quality of agribusiness activity based on the environmentally responsible approach. *Ekonomika regiona = Economy of Regions*. 2017;13(2):579–590. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17059/2017-2-22>
6. Safin R. I., Valiev A. R., Kolesar V. A. Current state and prospects of carbon farming development in the Republic of Tatarstan. *Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2021;16(3(63)):7–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.12737/2073-0462-2021-7-13>
7. Ivanov A. L., Stolbovoy V. S. The Initiative “4 per 1000” - a new global challenge for the soils of Russia. *Byulleten' Pochvennogo instituta im. V. V. Dokuchaeva = Dokuchaev Soil Bulletin*. 2019;(98):185–202. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2019-98-185-202>
8. Stolbovoy V. S. Regenerative agriculture and climate change mitigation. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK = Achievements of Science and Technology of AICis*. 2020;34(7):19–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2020-10703>
9. Kogut B. M., Semenov V. M., Artemyeva Z. S., Danchenko N. N. Humus depletion and soil carbon sequestration. *Agrokhiimiya*. 2021;(5):3–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188121050070>
10. Shuliko N. N., Timokhin A. Yu., Khamova O. F., Boyko V. S., Tukmacheva E. V., Korchagina I. A., Veynbender A. A. Biological and agrochemical properties of the meadow-chernozem soil of Omsk Irtysh region and fodder crop productivity as influenced by mineral fertilizers. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2024;59(1):156–173. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiol.2024.1.156rus>
11. Kudryavtsev A. E., Vaganov E. S., Kanunnikov S. V., Loktionov V. A. Factors determining sequestration, deposition, and carbon dioxide emissions in agroecosystems. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2024;(1(231)):37–44. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.53083/1996-4277-2024-231-1-37-44>
12. Demin E. A., Miller S. S., Akhtyamova A. A. The influence of mineral fertilizers and soil temperature on carbon dioxide emissions in spring wheat crops in the forest-steppe zone of the Trans-Urals. *Zemledelie*. 2024;(1):17–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2024-1-17-22>

13. Demin E. A. Influence of mineral fertilizers on organic carbon input into soil with plant residues in spring wheat crops. *Journal of Agriculture and Environment*. 2023;(11(39)):11. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.23649/JAE.2023.39.18>

14. Chernov T. I., Semenov M. V. Management of soil microbial communities: opportunities and prospects (A review). *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2021;(12):1506–1522. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120029>

15. Akhtyamova A. A., Yeregin D. I. Destruction of vegetable residues on leached out chernozem. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2018;(4(72)):30–33. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/xykudr>

16. Sychev V. G., Naliukhin A. N. Study of flows of carbon and nitrogen in long-term field experiments of the geoset with the purpose of reducing greenhouse gas emissions and increasing the deposition of carbon dioxide by agrocenoses. *Plodородие*. 2021;(6(123)):38–41. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.123.10>

17. Abramov N. V. Agroecosystem productivity and soil fertility in Western Siberia. Tyumen': *GAU Severnogo Zaural'ya*, 2013. 254 p.

18. Eremin D. I. The humus state of leached chernozem with prolonged use of a mineral fertilizer system for grain crops in the Northern Urals. *Agrarnyy vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*. 2010; (8(74)):35–37. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=15237358>

19. Demin E. A. Intake and fixation of organic carbon in grain agrophytocenosis of Western Siberia. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022; 1043(1):012027.

DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012027>

#### **Сведения об авторе**

✉ **Дёмин Евгений Александрович**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», ул. Республики, д. 7, г. Тюмень, Тюменская область, Российская Федерация, 625003, e-mail: [pr@gausz.ru](mailto:pr@gausz.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-3678>, e-mail: [gambitn2013@yandex.ru](mailto:gambitn2013@yandex.ru)

**Миллер Станислав Сергеевич**, кандидат с.-х. наук, доцент, ФГБОУ ВО «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», ул. Республики, д. 7, г. Тюмень, Тюменская область, Российская Федерация, 625003, e-mail: [pr@gausz.ru](mailto:pr@gausz.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2406-0142>

#### **Information about the authors**

✉ **Evgeniy A. Demin**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Northern Trans-Urals State Agricultural University, st. Respubliki, 7, Tyumen, Tyumen region, Russian Federation, 625003, e-mail: [pr@gausz.ru](mailto:pr@gausz.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2542-3678>, e-mail: [gambitn2013@yandex.ru](mailto:gambitn2013@yandex.ru),

**Stanislav S. Miller**, PhD in Agricultural Science, associate professor, Northern Trans-Urals State Agricultural University, st. Respubliki, 7, Tyumen, Tyumen region, Russian Federation, 625003, e-mail: [pr@gausz.ru](mailto:pr@gausz.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2406-0142>

✉ – Для контактов / Corresponding author



## Эффективность ускоренного окультуривания деградированной агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности

© 2024. А. И. Иванов✉, Ж. А. Иванова, П. А. Филиппов

ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт»,  
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Скрытая деградация эффективного плодородия ранее окультуренных агродерново-подзолистых почв представляет один из самых значимых рисков для развития земледелия Нечерноземья и его продовольственной безопасности. В стационарном многолетнем эксперименте, заложенном в Ленинградской области в 2006 году, выполнена комплексная оценка эффективности ускоренного окультуривания деградированной супесчаной агродерново-подзолистой почвы до хорошего и высокого уровней окультуренности. Объектами исследования выступали три вида почвы (средне-, хорошо- и высокоокультуренная) и культуры полевого и овощекормового шестипольных севооборотов, возделываемых по трехвариантной схеме полной минеральной системы удобрения. В ходе исследования во второй ротации севооборотов (2012–2016 гг.) было установлено, что отзывчивость сельскохозяйственных культур на ускоренное окультуривание почвы и полное минеральное удобрение определяется сочетанием их биологических и сортовых особенностей с погодно-климатическими и фитосанитарными условиями. Среднегодовой уровень продуктивности полевого и овощекормового севооборотов на среднеокультуренной почве составил 3,9 и 3,8 тыс. зерн. ед./га. На хорошо- и высокоокультуренной почве их продуктивность увеличилась на 34 и 67 %, 50 и 86 %, а от применения полной минеральной системы удобрения – на 28 и 18 % соответственно. Уровень рентабельности окультуривания почвы варьировал от 51–97 % в полевом, до 234–301 % – в овощекормовом севообороте при среднегодовой чистой доходности 12,1–13,1 и 97,1–110,4 тыс. руб./га соответственно. Срок окупаемости затрат на ускоренное окультуривание до хорошего и высокого уровней составил 3,3 и 5,1 года в полевом севообороте и 0,6 и 1,2 года – в овощекормовом севообороте соответственно.

**Ключевые слова:** уровень окультуренности почвы, отзывчивость культур, агрономическая эффективность, продуктивность севооборота, экономическая эффективность, окупаемость

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт» (тема FGEG-2022-0007).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Иванов А. И., Иванова Ж. А., Филиппов П. А. Эффективность ускоренного окультуривания деградированной агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1081–1089. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1081-1089>

Поступила: 16.09.2024

Принята к публикации: 26.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## The effectiveness of accelerated cultivation of degraded agrarian sod-podzolic soil in crop rotations of different intensity

© 2024. Alexey I. Ivanov✉, Zhanna A. Ivanova, Petr A. Filippov

Agrophysical Research Institute, Saint-Petersburg, Russian Federation

The hidden depleting degradation of the effective fertility of previously cultivated agrarian sod-podzolic soils is one of the most significant risks for the development of agriculture in the Non-Chernozem region and its food security. In a stationary long-term experiment, established in the Leningrad region in 2006, a comprehensive assessment of the effectiveness of accelerated cultivation of degraded sandy loam agrarian sod-podzolic soil to a good and high level of cultivation was performed. The objects of the research were three types of soil (medium-, well- and highly cultivated) and crops of cereal and row six-field crop rotations, cultivated in a three-variant scheme of a complete mineral fertilizer system. During the study in the second rotation of crop rotations (2012–2016), it has been established that the responsiveness of crops to accelerated soil cultivation and complete mineral fertilizer is determined by a combination of their biological and varietal characteristics with weather, climatic and phytosanitary conditions. The average annual productivity level of studied crop rotations on medium-cultivated soil amounted to 3.9 and 3.8 thousand grain units per ha. On well-cultivated and highly cultivated soil the productivity increased by 34 and 67, 50 and 86 %, respectively, and from the use of a complete mineral fertilizer system – by 28 and 18 %, respectively. The level of profitability of soil cultivation varied from 51–97 % in the crop rotation with cereals, and to 234–301 % in the row crop rotation with an average annual net yield of 12.1–13.1 and 97.1–110.4 thousand rubles/ha. The payback period for accelerated cultivation to a good and high level was 3.3 and 5.1 years in the crop rotation with cereals and 0.6 and 1.2 years in the row crop rotation, respectively.

**Keywords:** level of soil cultivation, crop response, agronomic efficiency, crop rotation productivity, economic efficiency, payback

**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 Agrophysical Research Institute (theme No. FGEG-2022-0007).

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

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

**For citations:** Ivanov A. I., Ivanova Z. A., Filippov P. A. The effectiveness of accelerated cultivation of degraded agrarian sod-podzolic soil in crop rotations of different intensity. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1081–1089. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1081-1089>

Received: 16.09.2024

Accepted for publication: 26.11.2024

Published online: 25.12.2024

За годы химизации земледелия в Нечернозёмной зоне РФ был создан весьма обширный фонд хорошо- и высококультуренных агродерново-подзолистых почв [1, 2, 3]. В пригородных овощеводческих хозяйствах на их долю приходилось более половины площади пахотных земель. В годы экономического кризиса эти почвы стали своеобразным страховым фондом, обеспечившим за счет сокращения затрат на удобрения определенную защиту сельхозпроизводителей от банкротства. Естественно, что в условиях, когда внесение мелиорантов и удобрений исчислялось всего несколькими килограммами действующего вещества на гектар, преобладающая часть таких почв подверглась деградационным процессам [2, 3, 4], которые не останавливались даже под залежью [5, 6, 7]. Фактические темпы истощения культуренных агродерново-подзолистых почв зависели от комплекса сопутствующих факторов, ведущую роль среди которых играли особенности их генезиса, интенсивность земледельческой деятельности, характер и продолжительность вынужденного отказа от удобрений и буферность отдельных свойств. Наибольшие риски для развития земледелия здесь были связаны с ускоренным подкислением зональных почв, утратой ими агрономически ценного структурного состояния и запасов подвижного калия [2, 3, 8].

Поскольку обеспечение продовольственной безопасности государства на истощенных почвах практически невозможно, вторичное окультуривание прежде уже окультуренных почв стало в настоящее время одной из первоочередных задач [3, 9, 10]. С одной стороны, ее практическая реализация на региональном уровне лимитируется ограниченной ресурсной базой и хроническим диспаритетом цен на промышленную и сельскохозяйственную продукцию. Вследствие этого по-прежнему ключевой остается проблема окупаемости затрат на окультуривание, которая во многом будет определяться структурой посевных площадей и уровнем продуктивности отдельных сельскохозяйственных культур.

С другой стороны, в настоящее время во многих местах неудовлетворительно используются доступные ресурсы сыромолотых мелиорантов и птичьего помёта [8]. Например, в Ленинградской области из среднегодового объёма производства твердого птичьего помёта до 1 млн т используется на удобрение менее 20 %. В ряде сельскохозяйственных предприятий с развитым животноводством имеются возможности для интенсивного применения собственных органических удобрений. Это значит, что даже при ограниченной государственной поддержке в настоящее время на уровне отдельных хозяйств и инвестиционных проектов существуют условия для ускоренного окультуривания утративших плодородие агродерново-подзолистых почв. Однако целый ряд аспектов, касающийся комплексной оценки его эффективности в современных погодно-климатических и социально-экономических условиях, а также реального воздействия на показатели эффективного плодородия почвы, системному изучению ранее не подвергался.

**Цель исследований** – комплексная оценка ускоренного окультуривания подвергшейся скрытой деградации агродерново-подзолистой почвы в севооборотах разной интенсивности.

**Научная новизна** – установление агротехнологических пределов продуктивности различных севооборотов в современных почвенно-климатических условиях Северо-Запада РФ.

**Материал и методы.** Методической основой исследования избран многолетний стационарный опыт «Агрофизический стационар». Заложен он был в 2006 году в Меньковском филиале АФИ (Гатчинский район Ленинградской области) на среднекультуренной агродерново-слабоподзолистой супесчаной почве, сформировавшейся на маломощной морене, подстилаемой с глубины 112–115 см озёрноледниковым песком.

До закладки опыта, в 1990 году, почва классифицировалась как типичная хорошо культуренная с оптимальными показателями агрохимических свойств пахотного слоя: рН<sub>KCl</sub> – 6,8, содержание органического вещества

– 4,08 % (ГОСТ 26213–91<sup>1</sup>), подвижных соединений  $P_2O_5$  – 490 мг/кг,  $K_2O$  – 327 мг/кг (ГОСТ 26207–91<sup>2</sup>). Поскольку материнская порода этой почвы характеризуется среднекислой реакцией и низким содержанием фосфора и калия, такие показатели стали прямым следствием 30-летнего периода химизации в форме двукратного известкования (в сумме 14 т/га доломитовой муки), внесения органических удобрений в среднегодовых дозах более 15 т/га и минеральных – более 250 кг/га по действующему веществу. В результате истощительной деградации уже к 2003 году данная почва имела следующие показатели агрофизических и агрохимических свойств: плотность сложения – 1,40 г/см<sup>3</sup> (методом режущего кольца); общая пористость – 42,8 % (расчетным методом); полная полевая влагоёмкость – 23,7 % (методом заливки полевых площадок);  $pH_{KCl}$  – 5,6 ед.; содержание органического вещества – 2,99 %; подвижных соединений  $P_2O_5$  – 296 и  $K_2O$  – 229 мг/кг.

Закладке опыта предшествовало ускоренное окультуривание этой почвы в уравнительных посевах однолетних трав в 2003–2005 годах. Для повышения степени окультуренности до хорошей на 1 га вносили по 1 т доломитовой муки и 220 т подстилочного навоза КРС, до высокой – 3 и 540 т соответственно. В результате к 2006 году параметры плодородия хорошо- и высокоокультуренного видов этой почвы были доведены по плотности сложения до 1,25 и 1,22 г/см<sup>3</sup>, общей пористости – до 52,6 и 53,0 %, полной полевой влагоёмкости – 26,7 и 27,2 %,  $pH_{KCl}$  – 6,2 и 6,4 ед., содержанию органического вещества – 3,54 и 3,89 %, подвижных соединений  $P_2O_5$  – 349 и 434,  $K_2O$  – 482 и 720 мг/кг соответственно. В качестве варианта сравнения в опыте оставалась исходная (среднеокультуренная) почва.

На указанных почвах вводились развёрнутые во времени 6-польные севообороты: полевой (зернотравяной) – «ячмень + многолетние травы (клевер луговой + тимopheевка луговая) – многолетние травы 1 г. п. – многолетние травы 2 г. п. – озимая рожь – картофель – однолетние травы»; специальный (овощекормовой зернопропашной) – «картофель – пшеница озимая – люпин кормовой – свёкла столовая – капуста белокочанная – ячмень». В работе анализировали материалы исследований, накопленные по завершении второй ротации этих севооборотов (2012–2016 гг.).

Для каждой из культур и севооборота в целом проектировались три варианта доз НРК, основанных на необходимости обеспечения элементами питания трёх уровней продуктивности фотосинтеза: 1 – без минеральных удобрений (НРК)0 – КПД ФАР – 1,0–1,5 %; 2 – средние дозы удобрений (НРК)1 – КПД ФАР – 2–3 %; 3 – повышенные дозы удобрений (НРК)2 – КПД ФАР – 3–4 %. Для полевого севооборота среднегодовые дозы действующего вещества удобрений составили 122 кг/га в варианте (НРК)1 и 180 кг/га – в варианте (НРК)2, для овощекормового – 205 и 310 кг/га соответственно. Минеральные удобрения вносили в основной приём в форме азофоски, аммиачной селитры и хлористого калия под предпосевную или предпосадочную обработку почвы и в подкормку в начале весеннего отрастания – на озимых зерновых и многолетних травах. Кроме того, для поддержания искусственно сформированных уровней окультуренности один раз в ротацию применяли органические удобрения (навоз КРС и птичий помет) из расчета их среднегодового поступления 6,25 т/га в хорошо окультуренную и 13,5 т/га – в высокоокультуренную почву. Все культуры возделывали на высоком агротехническом фоне с использованием стандартного агротехнологического оборудования и обоснованного применения средств защиты растений (гербицидов, инсектицидов и фунгицидов).

Экономическую эффективность ускоренного окультуривания и систем удобрения окультуренных почв устанавливали с учетом всего комплекса затрат на приобретение и применение мелиорантов и удобрений, уборку и обработку дополнительного урожая, а также фактических доходов от реализации продукции в ценах 2020 года.

Общая площадь опытной делянки – 200 м<sup>2</sup>, учётная – 120 м<sup>2</sup> для пропашных культур и 160 м<sup>2</sup> – для культур сплошного сева, повторность трёхкратная. Учёт урожая проводили сплошным весовым методом с использованием стандартного технологического оборудования. Структуру урожая и его фитосанитарные потери оценивали по совокупности показателей, определяемых вручную на учетных площадках 1–3 м<sup>2</sup>. Статистическую обработку данных учётов выполняли методом двухфакторного дисперсного анализа с использованием программного пакета Statistica 7.0 на 5%-ном уровне значимости.

<sup>1</sup>ГОСТ 26213–91. Почвы. Методы определения органического вещества. М.: Изд-во стандартов, 1992. 8 с.

URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ 26207–91. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Изд-во стандартов, 1992. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c43/4294828273.pdf>

**Результаты и их обсуждение.** Научная гипотеза исследования исходила из вполне очевидного предположения, что отзывчивость культур обоих севооборотов на ускоренное окультуривание среднеокультуренной почвы и минеральную систему удобрения будет определяться их биологическими особенностями. Однако в период проведения исследований это положение оказалось в значительной мере нивелировано весьма неблагоприятным сочетанием погодно-климатических и фитосанитарных условий. В частности, на фоне выраженного увеличения прихода тепла (суммы активных температур на 230 °С, или 12 %) и влаги (на 33 мм, или 9 %) за вегетационный период и повышения биоклиматического потенциала на 12 % резко (с 10 до 13 %) возросла вариабельность среднемесячных параметров гидротермического коэффициента и вероятность опасных погодно-климатических явлений [3]. Особенно острые негативные последствия имело сочетание продолжительных 2-3-недельных волн холода в начале вегетации с критическим избытком влаги в её конце, зафиксированные в 2016 и 2017 годах. Прохладная дождливая погода в начале вегетации инициировала марганцевый токсикоз большинства культур на среднеокультуренной почве, обостряющийся на фоне усиленного азотного питания. У капусты белокочанной этот эффект был усугублен эпифитотийным поражением ризоктониозом в начале вегетации после посадки рассады. На картофеле первоначальная задержка развития (на 14–17 дней) в сочетании с переувлажнением в заключительной части вегетации не позволила сдержать эпифитотию фитофтороза, даже при трехкратной фунгицидной обработке посадок. На свекле столовой такая погода инициировала поражение растений паршой обыкновенной.

Фактические потери урожая, связанные с изреживанием посевов и посадок, поражением товарной продукции патогенами на фоне эпифитотий, варьировали по вариантам от величин 0,1–0,5 тыс. зерн. ед./га на зерновых и кормовых культурах до критических 4,6–13,3 тыс. зерн. ед./га – на картофеле и овощных. Учетный в полевом опыте уровень фитосанитарных потерь урожая на средне-, хорошо- и высокоокультуренной почве составил у картофеля 5,5–6,6, 6,2–12,5 и 9,2–18,2 т/га клубней, свеклы столовой – 6,5–11,4, 12,9–21,3 и 15,6–24,4 т/га корнеплодов, капусты белокочанной –

4,5–37,7, 34,9–61,5, 50,8–83,5 т/га кочанов соответственно. Это означает, что продуктивный потенциал данных культур в опыте не был реализован. Столь значительные потери урожая, редко оцениваемые в научной агрономической практике, не могли не оказать отрицательного влияния на эффективность как ускоренного окультуривания почвы, так и полной минеральной системы удобрения.

И всё же резкое улучшение основных агропроизводственных свойств почвы обеспечило не менее значительное повышение продуктивности обоих севооборотов во второй их ротации (табл. 1). При этом эффективность минеральной системы удобрения закономерно понизилась. Уровень натуральной окупаемости минеральных удобрений сократился в среднем по вариантам и севооборотам в 1,4–1,5 раза (с 7,9 зерн. ед./кг д. в. на среднеокультуренной до 5,6 – на хорошо окультуренной и 5,2 зерн. ед./кг д. в. – на высокоокультуренной почве).

Несмотря на то, что севообороты отличались по доле сельскохозяйственных культур с повышенными требованиями к уровню почвенного плодородия и удобрениям, в действии изучаемых факторов на растения было много общего. Во-первых, в обоих из них урожайность в большей степени определялась уровнем окультуренности почвы, в меньшей – системой удобрения. Хотя агрономическая эффективность окультуривания в условиях овощекормового севооборота была заметно выше. Так, с повышением степени окультуренности со средней до хорошей и высокой среднегодовая продуктивность полевого севооборота увеличивалась на 34 и 50 % (с 3,9 до 5,2 и 5,8 тыс. зерн. ед./га), а овощекормового – на 67 и 86 % (с 3,8 до 6,4 и 7,1 тыс. зерн. ед./га) соответственно. В среднем во всех вариантах опыта относительные прибавки продуктивности за счёт ускоренного окультуривания деградированной почвы составили в полевом севообороте 61 %, в овощекормовом – 93 %.

Степень отзывчивости сельскохозяйственных культур на окультуривание определялась не только их биологическими особенностями, но и сочетанием погодно-климатических и фитосанитарных условий, а также системой удобрения (а, отчасти, и погодными показателями). Убывающий ряд отзывчивости на повышение степени окультуренности почвы со средней до хорошей (по величине показателей

прибавок продуктивности в тыс. зерн. ед./га) для культур полевого севооборота выглядел – «рожь озимая (1,91) > однолетние травы (1,75) > картофель (1,63) > ячмень (1,14) > много-

летние травы (1,13)»; овощекормового – «капуста белокочанная (8,18) > картофель (2,45) > люпин узколистный (2,38) > пшеница озимая (1,99) > свёкла столовая (1,56) > ячмень (1,40)».

**Таблица 1 – Эффективность окультуривания агродерново-подзолистой почвы и системы удобрения во второй ротации севооборотов /**

**Table 1 – Efficiency of agrarian sod-podzolic soil cultivation and fertilizer system in the second rotation of crop rotations**

Окультуренность почвы (фактор А) / Soil cultivation (factor A)	Вариант удобрения* (фактор В) / Variant of the fertilizer (factor B)	Показатель эффективности по севооборотам / Efficiency parameter of the crop rotations							
		продуктивность севооборота, тыс. зерн. ед./га / crop rotation productivity, thou- sand grain unit/ha	прибавка продуктивности / yield increase						окупаемость 1 кг NPK, зерн. ед. / payback of 1 kg NPK, grain unit
			всего / in total		от окультуривания / from soil cultivation		от системы удобрения / from fertilizer system		
			тыс. зерн. ед./га / thousand grain unit/ha	%	тыс. зерн. ед./га / thousand grain unit/ha	%	тыс. зерн. ед./га / thou- sand grain unit/ha	%	
Полевой севооборот / Cereal crop rotation									
Средняя / Medium	(NPK) <sub>0</sub>	23,23	-	-	-	-	-	-	-
	(NPK) <sub>122</sub>	31,27	8,04	35	-	-	8,04	35	12,0
	(NPK) <sub>180</sub>	35,01	11,78	51	-	-	11,78	51	10,9
Хорошая / Well	(NPK) <sub>0</sub>	31,21	7,98	34	7,98	34	-	-	-
	(NPK) <sub>122</sub>	35,58	12,35	53	4,31	14	4,37	14	6,5
	(NPK) <sub>180</sub>	39,51	16,68	72	4,50	13	8,30	27	7,7
Высокая / High	(NPK) <sub>0</sub>	34,91	11,68	50	11,68	50	-	-	-
	(NPK) <sub>122</sub>	40,08	16,85	73	8,81	28	5,17	15	7,7
	(NPK) <sub>180</sub>	42,90	19,67	85	7,89	23	7,99	23	7,4
НСР <sub>05</sub> (А) / LSD <sub>05</sub> (А)		-	-	-	2,22	-	-	-	-
НСР <sub>05</sub> (В) / LSD <sub>05</sub> (В)		-	-	-	-	-	2,84	-	-
Овощекормовой севооборот / Row crop rotation									
Средняя / Medium	(NPK) <sub>0</sub>	22,81	-	-	-	-	-	-	-
	(NPK) <sub>205</sub>	29,27	6,46	28	-	-	6,46	28	5,3
	(NPK) <sub>310</sub>	29,12	6,31	28	-	-	6,31	28	3,4
Хорошая / Well	(NPK) <sub>0</sub>	38,18	15,37	67	15,37	67	-	-	-
	(NPK) <sub>205</sub>	42,85	20,04	88	13,58	46	4,67	12	3,8
	(NPK) <sub>310</sub>	46,33	23,52	103	17,21	59	8,15	21	4,4
Высокая / High	(NPK) <sub>0</sub>	42,52	19,71	86	19,71	86	-	-	-
	(NPK) <sub>205</sub>	46,12	23,31	102	16,85	58	3,60	8	2,9
	(NPK) <sub>310</sub>	47,72	24,91	109	18,60	64	5,20	12	2,8
НСР <sub>05</sub> (А) / LSD <sub>05</sub> (А)		-	-	-	2,97	-	-	-	-
НСР <sub>05</sub> (В) / LSD <sub>05</sub> (В)		-	-	-	-	-	3,80	-	-

\* Среднегодовая доза NPK, кг/га д. в. / \* Average annual dose of NPK, kg/ha of active substance

На дальнейшее повышение степени окультуренности почвы до высокой растения реагировали уже слабее, а такие как многолетние травы второго года хозяйственного использования, люпин узколистный, картофель (в полевом севообороте) вообще не формировали статистически значимых прибавок урожайности. И если на люпине узколистном такой эффект был ожидаем, то на многолетних

травках, представляющих смесь клевера лугового с тимфеевкой луговой, и картофеля не прогнозировался. У картофеля основной причиной этого стали описанные выше потери урожая от эпифитотийного поражения культуры фитофторозом. У многолетних же трав это стало следствием посева в составе смеси с тимфеевкой луговой сорта Ленинградская 204 (Ленинградский НИИСХ «БЕЛОГОРКА» – филиал



ФГБНУ «ФИЦ картофеля имени А. Г. Лорха», Россия) относительно малотребовательного к плодородию почвы [11, 12] клевера лугового сорта Орфей (ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», Россия). В результате их продуктивность, даже на неудобренной среднекультуренной почве при доминировании в ботаническом составе клевера лугового, составила в среднем 7,61 т/га, на хорошо окультуренной – 8,89 и высокоокультуренной почве – 9,12 т/га сена ( $HC_{P05} = 0,72$  т/га).

На таком почвенно-агрохимическом и агроэкологическом фоне отзывчивость на минеральную систему удобрения была невысокой у культур обоих севооборотов. Средние по опыту прибавки продуктивности составили 28 % (7,65 тыс. зерн. ед./га) в полевом и 18 % (4,85 тыс. зерн. ед./га) – овощекормовом севообороте. Причём реакция на удобрения столь сильно зависела от специфики погодных и фитосанитарных условий, что убывающий ряд отзывчивости на них сельскохозяйственных культур (по величине показателя окупаемости 1 кг NPK в зерн. ед.) часто вообще не согласовался с параметрами биологического выноса этих элементов. Для культур полевого севооборота он имел вид – «многолетние травы (8,7) > ячмень (7,8) > рожь озимая (7,2) > картофель (6,4) > однолетние травы (3,5)», а для овощекормового – «картофель (6,3) > свёкла столовая (5,5) > пшеница озимая (4,0) > люпин узколистный (2,8) > ячмень (2,1) > капуста белокочанная (2,1)». К примеру, в условиях холодной погоды вегетационного периода 2016 года агрономический эффект минеральных удобрений на капусте получили нулевым, поскольку они усилили развитие ризоктониоза, в конечном итоге снизившего урожайность культуры на 34–64 %.

На эффективности системы удобрения негативно сказывалось и повышение степени окультуренности почвы, поскольку потребности растений в элементах питания обеспечивались в значительной степени за счёт почвенных запасов последних, полученных от внесения органических удобрений. В целом по опыту прибавки продуктивности севооборотов от полной минеральной системы удобрения достигли на среднекультуренной почве 36 %, на хорошо- и высокоокультуренной – 19 и 15 %, что в абсолютном выражении составило 8,15, 6,37 и 5,49 тыс. зерн. ед./га соответственно. Это значит, что фактическая отдача от применяемой минеральной системы удобрения сокращалась при ускоренном окультуривании

почвы до хорошо- и высокоокультуренного состояния в среднем по вариантам опыта на 22 и 33 % соответственно.

При достигнутом в опыте уровне продуктивности полуторакратное увеличение доз полного минерального удобрения со среднего до повышенного уровня достоверно активизировало производственный процесс на всех видах почвы только у свеклы столовой и однолетних трав, у картофеля и озимых зерновых – на средне- и хорошо окультуренной почве, у ячменя – только на среднекультуренной. Посевы люпина узколистного, многолетних трав и капусты белокочанной статистически значимой прибавки урожая в варианте (NPK)<sub>2</sub> относительно (NPK)<sub>1</sub> по разным причинам не сформировали.

Более устойчивый агрономический эффект от повышения доз полного минерального удобрения был зафиксирован в обоих севооборотах на хорошо окультуренной агродерново-подзолистой почве, где абсолютная прибавка продуктивности достигла 3,93 и 3,67 тыс. зерн. ед./га. На этой почве, даже натуральная окупаемость удобрений увеличилась относительно варианта (NPK)<sub>1</sub> в полевом и овощекормовом севооборотах на 18 и 16 % соответственно.

Выполненный с использованием технологических карт расчет затрат на ускоренное окультуривание деградированной агродерново-подзолистой почвы показал, что их уровень на первоначальном восстановительном этапе составил для хорошо- и высокоокультуренной почвы 69,4 и 173,7 тыс. руб./га соответственно. В их структуре на мелиоранты и удобрения приходилась треть издержек и до 40 % – на расходы по обеспечению работы технологического оборудования (амортизация техники и горюче-смазочные материалы). Дальнейшие среднегодовые затраты на поддержание эффективного плодородия хорошо- и высококультуренной почвы за счет применения навоза и птичьего помета составили 2,1 и 4,2 тыс. руб./га соответственно. В результате при использовании сравнительно дешёвых местных удобрений формирование и частичное воспроизводство 1 га хорошо окультуренной почвы обходилось в 81,6 тыс. руб., высокоокультуренной – 197,9 тыс. руб. При дальнейшей оценке экономической эффективности эти издержки распределяли равными долями на продукцию двух ротаций севооборотов.

Несмотря на весомость затрат и неполную реализацию продуктивного потенциала ряда культур, экономическая эффективность уско-

ренного окультурирования агродерново-подзо-  
листой почвы может быть оценена как

удовлетворительная в полевом и высокая –  
в овощекормовом севообороте (табл. 2).

*Таблица 2 – Экономическая эффективность ускоренного окультурирования агродерново-подзолистой почвы за ротацию севооборота /*

*Table 2 – Economic efficiency of accelerated cultivation of agrarian sod-podzolic soil for a rotation of the crop rotation*

Показатель / Parameter	Параметры экономической эффективности по севооборотам и уровням окультуренности почвы / Economic efficiency parameters			
	полевой / cereal		овощекормовой / row	
	хорошая / well	высокая / high	хорошая / well	высокая / high
Стоимость прибавки, тыс. руб/га / Cost of the increase, thousand rubles/ha	147,5	231,9	776,0	945,7
Дополнительные затраты, тыс. руб/га / Additional cost, thousand rubles/ha	74,9	153,4	193,3	283,2
Условный чистый доход, тыс. руб/га / Conditional net income, thousand rubles/ha	72,6	78,5	582,7	662,5
Рентабельность, % / Profitability, %	97	51	301	234
Окупаемость, руб/руб / Payback, rubles	1,97	1,51	4,01	3,34
Срок окупаемости затрат, лет / Payback period, years	3,3	5,1	0,6	1,2

В теоретических расчётах при этом обеспечивался вполне приемлемый уровень рентабельности (от 74 % в среднем по двум вариантам окультурирования почвы в полевом до 268 % – в овощекормовом севообороте). За счёт повышенной отзывчивости культур и относительной оценённости рынком картофеля и овощей затраты на окультурирование в овощекормовом севообороте окупались в среднем в 4,9 раза быстрее, чем в полевом (0,9 против 4,4 года).

С экономических позиций в полевом севообороте вложения в дальнейшее расширенное воспроизводство плодородия деградированной почвы от хорошо- до высокоокультуренного состояния оказались неэффективны, так как стоимость дополнительной прибавки урожая за ротацию (84,4 тыс. руб/га) с трудом покрывала возрастающие затраты (78,5 тыс. руб/га). Напротив, в овощекормовом севообороте при достигнутом уровне продуктивности и этот приём был весьма эффективным – среднегодовой уровень условного чистого дохода на высокоокультуренной почве относительно хорошо окультуренной увеличился на 14 % (с 97,12 до 110,42 тыс. руб/га).

Таким образом, вторичное ускоренное окультурирование утративших прежний уровень плодородия агродерново-подзолистых почв – одно из перспективных направлений возрождения сельскохозяйственного производства в Нечерноземье.

**Заключение.** Результаты многолетнего эксперимента подтвердили высокую агрономическую эффективность и экономическую целесообразность вторичного ускоренного окультурирования подвергшихся деградационным процессам ранее хорошо окультуренных дерново-подзолистых почв. При наличии ресурсов местных мелиорантов и удобрений их агропроизводственные свойства могут быть за 2-3 года улучшены до параметров хорошей окультуренности с целью последующего использования в любых севооборотах или высокой окультуренности – для эксплуатации в интенсивных специальных севооборотах.

Отзывчивость отдельных культур на это мероприятие определяется сочетанием их биологических и сортовых особенностей с комплексом погодно-климатических и фитосанитарных условий. Так, при повышении степени окультуренности со средней до хорошей и высокой среднегодовая продуктивность полевого севооборота увеличивалась на 33 и 49 % (с 3,9 до 5,2 и 5,8 тыс. зерн. ед./га, а овощекормового – на 68 и 87 % (с 3,8 до 6,4 и 7,1 тыс. зерн. ед./га) соответственно.

Агрономическая эффективность окультурирования деградированной почвы существенно превосходила отдачу от полного минерального удобрения. Прибавка продуктивности полевого и овощекормового севооборотов от окультурирования составила в среднем 61 и 93 %,

а от применения полной минеральной системы удобрения – 28 и 18 % соответственно.

Срок окупаемости весомых затрат на расширенное воспроизводство эффективного плодородия почвы до хорошо- и высококультурного состояния (81,6 и 197,9 тыс. руб/га) товарной продукцией овощекормового севооборота составил в 4,9 раза короче, чем полевого

(0,9 против 4,4 года). Экономическая эффективность ускоренного окультуривания была удовлетворительной в полевом и высокой – в овощекормовом севообороте. Среднегодовой уровень условного чистого дохода от ускоренного окультуривания почвы в этих севооборотах достиг 12,1–13,1 и 97,1–110,4 тыс. руб/га соответственно.

#### Список литературы

1. Небольсин А. Н., Небольсина З. П., Яковлева Л. В., Поляков В. А. Научные основы и технология использования удобрений и известн. СПб.: СЗНИИСХ, 1997. 52 с.
2. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Konashekov A. A. Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Ch. 15. pp. 349–372. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49620776> EDN: ZHMKUR
3. Рекомендации по развитию агропромышленного комплекса и сельских территорий Нечернозёмной зоны Российской Федерации до 2030 года. Версия 2.0. Под ред. С. Г. Митина, А. Л. Иванова. М.: ООО «Изд-во МБА», 2021. 400 с.
4. 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
5. Соколов И. В. Освоение запущенных земель в Ленинградской области: проблема не одна. Агрофизика. 2020;(2):27–33. DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.02.05> EDN: TVELWV
6. Литвинович А. В., Лаврищев А. В., Буре В. М. Агрогенная эволюция дерново-подзолистой глееватой глинистой почвы (*Albic Retisols*) с регулируемым водно-воздушным режимом. Агрохимия. 2021;(7):13–26. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46153597> EDN: LWUMAL
7. Сычев В. Г. Современное состояние плодородия почв и основные аспекты его регулирования. М.: РАН, 2019. 325 с. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48062476> EDN: ETPUNH
8. Иванов А. И., Вязовский А. А., Конашенков А. А., Петров И. И., Воробьев В. А. Актуальные вопросы известкования кислых почв Нечерноземья. Агрохимический вестник. 2019;(6):3–9. DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10081> EDN: NPEJVK
9. Кирейчева Л. В., Шевченко В. А. Состояние пахотных земель Нечернозёмной зоны Российской Федерации и основные направления повышения плодородия почв. Международный сельскохозяйственный журнал. 2020;(2):12–16.
10. Агромелиоративные приемы восстановления плодородия деградированных и вышедших из оборота сельскохозяйственных земель и пастбищных территорий. Под ред. В. А. Шевченко. М.: ВНИИГИМ им. А. Н. Костякова, 2022. 205 с.
11. Онучина О. Л., Корнева И. А. Устойчивость сортов клевера лугового к стрессовым факторам кислой дерново-подзолистой почвы. Сельское хозяйство. 2018;(2):1–8. DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2018.2.28120> EDN: YSXQPZ
12. Новоселов М. Ю., Новоселова А. С., Дробышева Л. В., Разгуляева Н. В., Пуца Н. М., Полюдина Р. И., и др. Результаты и перспективы экологической селекции клевера лугового (*Trifolium pratense* L.). Кормопроизводство. 2007;(9):16–19.

#### References

1. Nebolsin A. N., Nebolsina Z. P., Yakovleva L. V., Polyakov V. A. Scientific foundations and technology of using fertilizers and lime. Saint-Petersburg: SZNIISKH, 1997. 52 p.
2. Ivanov A. I., Ivanova Zh. A., Konashekov A. A. Environmental Landscape Conditions of the Russian Northwest, the Fertility of Sod-Podsolic Soils and the Efficiency of Precise Fertilizer Systems. Exploring and Optimizing Agricultural Landscapes. Springer Nature Switzerland AG, 2021. Ch. 15. pp. 349–372. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49620776>
3. Recommendations for the development of the agro-industrial complex and rural areas of the Non-Chernozem zone of the Russian Federation until 2030. Version 2.0. Edited by S. G. Mitin, A. L. Ivanov. Moscow: *ООО «Izd-vo MBA»*, 2021. 400 p.
4. Sychev V. G., Shafran S. A., Vinogradova S. B. Soil fertility in Russia and ways of its regulation. *Agrokhimiya*. 2020;(6):3–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120060125>
5. Sokolov I. V. Development of neglected lands in the Leningrad region. *Agrofizika*. 2020;(2):27–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25695/AGRP.2020.02.05>

6. Litvinovich A. V., Lavrishchev A. V., Bure V. M. Agrogenic evolution of sod-podzolic surface-moistened clay soil (*Albic Retisols*) with adjustable water-air mode. *Agrokhimiya*. 2021;(7):13–26. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46153597>
7. Sychev V. G. The current state of soil fertility and the main aspects of its regulation. Moscow: *RAN*, 2019. 325 p. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=48062476>
8. Ivanov A. I., Vyazovskiy A. A., Konashenkov A. A., Petrov I. I., Vorob'ev V. A. Topical issues of liming acid soils of Non-chernozem zone. *Agrokhimicheskiy vestnik* = Agrochemical Herald. 2019;(6):3–9. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0235-2516-2019-10081>
9. Kireycheva L. V., Shevchenko V. A. The status of the arable land in the non-chernozem zone of the Russian Federation and the main directions of soil fertility improvement. *Mezhdunarodnyy sel'skokhozyaystvennyy zhurnal* = International Agricultural Journal. 2020;(2):12–16. (In Russ.).
10. Agro-reclamation techniques for restoring fertility of degraded and decommissioned agricultural lands and pasture territories. *Pod red. V. A. Shevchenko*. Moscow: *VNIIGIM im. A. N. Kostyakova*, 2022. 205 p.
11. Onuchina O. L., Korneva I. A. Resistance of meadow clover varieties to stress factors of acidic sod-podzolic soil. *Sel'skoe khozyaystvo* = Agriculture. 2018;(2):1–8. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.7256/2453-8809.2018.2.28120>
12. Novoselov M. Yu., Novoselova A. S., Drobysheva L. V., Razgulyaeva N. V., Putsa N. M., Polyudina R. I., et al. Results and prospects of ecological breeding of meadow clover (*Trifolium pratense* L.). *Kormoproizvodstvo* = Forage Production. 2007;(9):16–19. (In Russ.).

#### **Сведения об авторах**

✉ **Иванов Алексей Иванович**, доктор с.-х. наук, профессор, член-корреспондент РАН, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-0798>, e-mail: [ivanovai2009@yandex.ru](mailto:ivanovai2009@yandex.ru)

**Иванова Жанна Анатольевна**, кандидат с.-х. наук, старший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, д. 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-8285>

**Филиппов Петр Александрович**, кандидат с.-х. наук, младший научный сотрудник, ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», Гражданский проспект, 14, Санкт-Петербург, Российская Федерация, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-8330>

#### **Information about the author**

✉ **Alexey I. Ivanov**, DSc in Agricultural Science, professor, corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, chief researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1502-0798>, e-mail: [ivanovai2009@yandex.ru](mailto:ivanovai2009@yandex.ru)

**Zhanna A. Ivanova**, PhD in Agricultural Science, senior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3138-8285>

**Petr A. Filippov**, PhD in Agricultural Science, junior researcher, Agrophysical Research Institute, Grazhdansky pr., 14, Saint-Petersburg, Russian Federation, 195220, e-mail: [office@agrophys.ru](mailto:office@agrophys.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2362-8330>

✉ – Для контактов / Corresponding author

## Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой почвы на динамику содержания почвенного органического углерода

© 2024. Л. Н. Шихова✉

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

В течение 1999–2001 гг. на полях Фалёнской селекционной станции (Кировская область) изучали динамику содержания почвенного органического углерода ( $C_{орг}$ ) и его лабильной части ( $C_{лов}$ ) в дерново-подзолистой почве разной степени окультуренности. Пахотный слой слабоокультуренного варианта почвы характеризовался сильно-кислой реакцией среды ( $pH_{KCl} - 3,88$ ) и низким содержанием органического углерода ( $C_{орг} - 0,91\%$ ), окультуренного – близкой к нейтральной реакцией ( $pH_{KCl} - 6,14$ ) и содержанием общего углерода на уровне среднего значения для дерново-подзолистых суглинистых почв региона ( $C_{орг} - 1,10\%$ ). Пробы почвы отбирали в течение вегетационного периода раз в месяц в шестикратной повторности из пахотного горизонта и в трёхкратной – для горизонтов  $A_2B$  и  $B$ . Выявлено, что в течение всех лет наблюдения в пахотном горизонте почвы окультуренного варианта количество  $C_{орг}$  значительно достоверно выше (на 16–76 %). В нижележащих горизонтах почв обоих вариантов содержание  $C_{орг}$  резко сокращалось до 0,2–0,6 %. Содержание лабильной части органического углерода не различалось по вариантам и варьировало от 0,05 до 0,19 % в зависимости от горизонта и периода наблюдения. Однако в пахотном горизонте слабоокультуренной почвы доля лабильного углерода в составе общего органического углерода достоверно выше, что свидетельствует о меньшей устойчивости системы почвенного органического вещества. Содержание обеих форм почвенного органического вещества достоверно варьировало по годам и в течение вегетационного сезона. Максимальные значения  $C_{орг}$  отмечали в начале и конце сезона наблюдения, минимальные – в июле. Содержание  $C_{лов}$  снижалось от начала к концу сезона.

**Ключевые слова:** органическое вещество почвы, лабильный углерод, динамика углерода, дерново-подзолистая почва, окультуривание почвы

**Благодарности:** работа выполнена по заданию Россельхозакадемии в соответствии с Планом НИР Зонального НИИСХ Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого на 1998–2002 гг. (№ госрегистрации темы 01970004750).

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

**Конфликт интересов:** автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шихова Л. Н. Влияние степени окультуренности дерново-подзолистой почвы на динамику содержания почвенного органического углерода. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1090–1099. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1090-1099>

Поступила: 07.04.2024

Принята к публикации: 09.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Influence of degree of cultivation of sod-podzolic soil on dynamics of content of soil organic carbon

© 2024. Lyudmila N. Shikhova✉

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

In 1999–2001 on the fields of the Falenky Breeding Station (Kirov region), the dynamics of the content of soil organic carbon ( $C_{org}$ ) and its labile part ( $C_{lab}$ ) in sod-podzolic arable soil of varying degrees of cultivation were studied. The arable layer of weakly cultivated variant of the soil was characterized by high acidity ( $pH_{KCl} - 3.88$ ) and low organic carbon content ( $C_{орг} - 0.91\%$ ). The well cultivated variant had an acidity close to neutral in the arable horizon ( $pH_{KCl} - 6.14$ ) and a total carbon content at the average level for sod-podzolic loamy soils of the region ( $C_{орг} - 1.10\%$ ). Soil samples were taken during the growing season once a month in a sixfold repetition from the arable horizon and in a threefold repetition for horizons  $A_2B$  and  $B$ . It was revealed that during all years of observation in the arable horizon of the soil of the cultivated variant, the  $C_{орг}$  content was significantly higher (by 16–76 %). In the underlying horizons of soils of both variants, the carbon content was sharply reduced to 0.2–0.6 %. The content of labile part of organic carbon did not differ by variants and varied from 0.05 to 0.19 % depending on the horizon and observation period. However, in the arable horizon of weakly cultivated soil, the proportion of labile carbon in the composition of total organic carbon was significantly higher, which indicated less stability of the soil organic matter system. The content of both forms of soil organic matter varied significantly over the years and during the growing season. Maximum values of  $C_{орг}$  content were noted at the beginning and at the end of the observation season. Minimum values were noted in July. Content of  $C_{lab}$  was decreasing from the beginning to the end of the season.

**Keywords:** soil organic matter, labile carbon, carbon dynamics, sod-podzolic soil, soil cultivation

**Acknowledgments:** the research was carried out within the task of the Russian Agricultural Academy in accordance with the Plan of Research Work of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky for 1998–2002 (state registration No. 01970004750).

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

**Conflict of interest:** the author declares that there is no conflict of interest.



*For citation:* Shikhova L. N. Influence of degree of cultivation of sod-podzolic soil on dynamics of content of soil organic carbon. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1090–1099. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1090-1099>

Received: 07.06.2024

Accepted for publication: 09.12.2024

Published online: 25.12.2024

Хорошо известно, что органическое вещество – это важнейший фактор плодородия и устойчивости пахотных почв. Его содержание и качественный состав влияют на физические и физико-химические свойства почв, количество элементов питания, буферные свойства почв по отношению к различного рода поллютантам [1, 2].

Почвенное органическое вещество – это динамичная система, активно реагирующая на многочисленные факторы окружающей среды и антропогенное воздействие. Наиболее существенными факторами, влияющими на содержание и состав органического вещества, являются погодно-климатические условия и свойства почвы [3, 4]. В пахотных почвах, кроме природных, на почвенный гумус большое влияние оказывают и антропогенные факторы. Поэтому сложно определить зависимость содержания органического вещества от какого-либо одного фактора. В целом при сельскохозяйственном освоении дерново-подзолистых почв запасы гумуса уменьшаются, так как снижается поступление массы растительных остатков и активизируются процессы деструкции почвенных органических соединений. Однако многочисленные исследования свидетельствуют, что окультуривание дерново-подзолистых почв, введение их в сельскохозяйственное производство может как уменьшить, так и увеличить содержание в них гумуса, в зависимости от интенсивности и качества использования земли [5, 6].

По своему составу и свойствам органическое вещество является гетерогенной структурой. Часто используемое разделение органического вещества на лабильную и стабильную части условно и основано на извлекаемости отдельных групп органических соединений различными экстрагентами. Гипотетически в группу консервативных (стабильных) органических веществ относят соединения, формирующиеся и сохраняющиеся в течение длительного времени и характеризующие типовые признаки почв [7]. Сюда относят гумусовые кислоты, более или менее тесно связанные с минеральной частью почвы, негидролизуемый остаток, часть прогуминовых веществ, трудногидролизуемые неспецифические соединения и промежуточные продукты распада и

гумификации. Все эти вещества участвуют в питании растений в незначительной степени, но создают для этого благоприятную среду, определяя тем самым потенциальное плодородие почв. Консервативные гумусовые вещества участвуют в формировании таких экологически и агрономически важных признаков, как агрегатное состояние, водоудерживающие свойства, ёмкость обмена и буферные свойства, сорбционная способность [8, 9, 10].

Большинство исследователей считают, что наибольшую агрономическую ценность представляет группа лабильных органических веществ (ЛОВ) [11, 12, 13].

Вещества этой группы, являясь сбалансированным источником макро- и микроэлементов, принимают непосредственное участие в питании растений, формируют водопрочную структуру, служат энергетическим материалом для микроорганизмов и выполняют защитную функцию в отношении консервативного органического вещества. Однако единого мнения о том, какие именно соединения относить к группе лабильных органических веществ, нет. Неопределённость вносит также применение различных экстрагентов при изучении ЛОВ [14].

При контроле содержания гумуса в пахотных почвах используют в основном только общий показатель, определяемый обычно в конце вегетационного сезона после уборки урожая или ротации севооборота. Но система органического вещества почвы, особенно его лабильной части, очень динамична [15]. Трансформация органического вещества в течение вегетационного сезона должна оказывать существенное влияние на плодородие почвы. Исследований динамики органического вещества недостаточно и, вероятно, поэтому нет единого мнения о характере его изменения в течение вегетационного сезона [16].

**Цель исследований** – изучение динамики содержания и закономерностей поведения почвенного органического углерода в пахотной дерново-подзолистой почве в зависимости от степени её окультуренности.

**Научная новизна** – впервые в исследуемом регионе прослежена динамика содержания общего и лабильного углерода дерново-подзолистой почвы в течение вегетационного сезона.

**Материал и методы.** Объектом исследования служила дерново-подзолистая суглинистая почва, сформированная на покровном тяжёлом суглинке (Фалёнская селекционная станция, Кировская область). Профиль почвы имеет следующее строение (кратко): Ап (0–22 см); А<sub>2</sub>В (22–45 см); В (45–60 см).

Для исследования выбраны два варианта:

- слабоокультуренная почва, в которую длительное время (около 20 лет) не вносили мелиоранты и удобрения, кроме аммиачной селитры в дозе 30 кг/га д. в. под посев зерновых культур;

- окультуренная почва в севообороте, где соблюдали все агротехнические мероприятия и вносили ежегодно в среднем по 45 кг/га д. в. NPK; в чистый пар в 2000 г. внесён навоз в дозе 40 т/га.

Изучение динамики содержания органического вещества проводили в течение 1999–2001 гг. За этот период исследования поля засеивали следующими культурами:

- слабоокультуренный участок – овёс (1998 г.), горох (1999 г.), овёс с подсевом клевера (2000 г.), клевер 1 г. п. (2001 г.);

- окультуренный участок – зернобобовые (1998 г.), овёс (1999 г.), чистый пар (2000 г.), озимая рожь (2001 г.).

Ежегодно в течение вегетационного периода раз в месяц почвенным буром отбирали пробы из трёх горизонтов (Ап, А<sub>2</sub>В, В). Повторность отбора 3-кратная в нижних горизонтах и 6-кратная в пахотном горизонте.

В почвенных пробах определяли: содержание общего и лабильного органического углерода по В. В. Тюрину<sup>1</sup>. Лабильные органические вещества экстрагировали 0,1 М раствором пирофосфата натрия с pH 7,0 при соотношении почва: раствор 1:2 с дальнейшим настаиванием в течение суток и центрифугированием.

Выявление существенных различий между вариантами разной окультуренности проводили с использованием критерия Стьюдента при уровне значимости  $P \leq 0,05$ .

Результаты исследований по каждому участку обработаны с помощью двухфакторного дисперсионного анализа, существенность различий оценивали по критерию Дункана при  $P \leq 0,05$  с применением пакетов программы Agros.

Строение почвенных профилей и краткая их характеристика приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Краткая характеристика дерново-подзолистых почв опытных участков (1999 г.) /**  
**Table 1 – Brief characteristics of sod-podzolic soils of the experimental plots (1999)**

Горизонт / Horizon	Глубина, см / Depth, cm	$C_{орг}, \% / C_{org}, \%$	$pH_{KCl}$
Слабоокультуренный / Weakly cultivated			
Ап	0–28	0,91	3,88
А <sub>2</sub> В	28–43	0,24	3,83
В	43–85	0,24	3,95
ВС	85–104	0,20	4,00
С	104–120	0,18	4,07
Окультуренный / Well cultivated			
Ап	0–24	1,10	6,14
А <sub>2</sub> В	24–40	0,25	4,84
В	40–86	0,16	4,02
ВС	86–100	0,16	4,08

**Результаты и их обсуждение.** Исследуемые дерново-подзолистые пахотные почвы содержат незначительное количество почвенного органического углерода, которое редко превышало 1,5 %, даже в почве окультуренного варианта.

Пахотные горизонты почв вариантов исследования статистически значимо отличались

по содержанию органического углерода (табл. 2). Например, в среднем за 3 года исследований содержание углерода в варианте слабоокультуренной почвы значительно ниже, чем в окультуренной почве и составило  $0,955 \pm 0,071$  %, в среднем за сезон изменяясь от 0,900 до 1,048 % в разные годы.

<sup>1</sup>Аринушкина Е. В. Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во МГУ, 1970. 488 с.

*Таблица 2 – Изменение содержания  $C_{орг}$  в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы разной степени окультуренности, % /*

*Table 2 – Change of  $C_{орг}$  content in arable horizon of sod-podzolic soil of different degree of cultivation, %*

Год / Year	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее (А) / Average (A)
Слабоокультуренный участок / Weakly cultivated plot						
1999	1,076±0,025	1,123±0,057	1,040±0,071	1,040±0,056	0,954±0,039	1,048 b*
2000	0,823±0,021	0,946±0,009	0,995±0,037	0,952±0,028	0,785±0,027	0,900 a
2001	1,068±0,036	1,078±0,057	0,587±0,125	0,776±0,050	1,080±0,212	0,918 a
Среднее (В) / Average (B)	0,989	1,049	0,874	0,924	0,940	HCP <sub>05</sub> (A) / LDS <sub>05</sub> (A) = 0,092; F <sub>ф</sub> <F <sub>т</sub>
Окультуренный участок / Well cultivated plot						
1999	1,225±0,060	1,385±0,040	1,213±0,055	1,225±0,080	1,077±0,047	1,225 a
2000	1,153±0,021	1,683±0,025	1,396±0,013	1,822±0,070	1,872±0,047	1,585 b
2001	1,461±0,011	1,297±0,019	1,051±0,021	1,323±0,057	0,857±0,094	1,198 a
Среднее (В) / Average (B)	1,280 a	1,455 bc	1,220 a	1,457 c	1,269 a	HCP <sub>05</sub> (A) / LDS <sub>05</sub> (A) = 0,059 HCP <sub>05</sub> (B) / LDS <sub>05</sub> (B) = 0,076

Примечания: Фактор А – год; фактор В – месяц; (±) – ошибка среднего; \* – средние значения, обозначенные разными буквами, различаются существенно по критерию Дункана при  $p \leq 0,05$  /

Notes: Factor A – year; Factor B – month; (±) – error of the average; \* – average values, denoted by different letters, differ significantly by Duncan's test at  $p \leq 0.05$

Длительная распашка и выращивание растений без применения удобрений и мероприятий, направленных на пополнение почвенной органики, ведёт к сокращению содержания органического углерода до минимально возможных значений и ухудшению его качественного состава [17, 18]. Вероятно, это минимально возможное его содержание в исследуемой почве при данных условиях.

В пахотном горизонте почвы окультуренного варианта содержание органического углерода выше и составило в среднем за 3 года  $1,336 \pm 0,046$  %, варьируя за сезоны разных лет наблюдения от 1,198 до 1,585 %, что на 17–76 % выше, чем в слабоокультуренном (табл. 2). Таким образом, в почве окультуренного варианта при надлежащем соблюдении агротехники удаётся поддерживать более высокий уровень содержания углерода.

Соответственно изменяются и запасы органического углерода в пахотном горизонте почвы в разных вариантах (табл. 3). В целом запасы органического углерода в почве опытных участков незначительны и близки к значениям, приводимым в литературе другими авторами [19].

Из наблюдений следует, что  $C_{орг}$  очень изменчивый показатель. Дисперсионный анализ свидетельствует о достоверном варьировании

этого показателя по годам в почве обоих вариантов (табл. 2). В разные годы наблюдения в пахотном горизонте уровень содержания  $C_{орг}$  в одном и том же варианте может значительно различаться.

Колебания содержания углерода в окультуренной почве более значительны, чем в слабоокультуренной, что связано, вероятно, с более интенсивным использованием почвы и высокой скоростью преобразования органического вещества. Например, внесение органического удобрения (навоз) в 2000 году привело к резкому увеличению содержания  $C_{орг}$ , однако в следующем году его количество снова уменьшилось.

С глубиной содержание  $C_{орг}$  снижается, варьируя в пределах 0,28–0,59 % в горизонте  $A_2B$  и 0,21–0,30 % – В. Содержание углерода в этих горизонтах также достоверно варьирует по годам. Средние за три года данные содержания углерода слабо различаются по вариантам окультуренности (табл. 4).

Значительные колебания содержания органического углерода по годам связаны как с погодными условиями, определяющими скорость и полноту трансформации органического вещества, так и особенностями сельскохозяйственных культур и их «вкладом» в общий баланс органического вещества [20].

Таблица 3 – Изменение запасов  $C_{орг}$  в пахотном горизонте дерново-подзолистей почвы в зависимости от степени окультуренности /  
Table 3 – Change of  $C_{орг}$  storage in arable horizon of sod-podzolic soil in dependence of degree of cultivation

Год / Year	Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil		Окультуренная почва / Well cultivated soil		
	$C_{орг}$ , % / $C_{орг}$ , %	запасы $C_{орг}$ , т/га / $C_{орг}$ storage, t/ha	$C_{орг}$ , % / $C_{орг}$ , %	запасы $C_{орг}$ / $C_{орг}$ storage т/га / t/ha	%*
1999	1,048±0,036	29,35	1,225±0,089	34,30	116,9
2000	0,900±0,041	25,21	1,585±0,136	44,39	176,1
2001	0,918±0,101	25,70	1,198±0,108	33,54	130,5

\* К слабоокультуренной почве / \* To weakly cultivated soil

Таблица 4 – Изменение содержания  $C_{орг}$  в верхних горизонтах дерново-подзолистей почвы, % от веса почвы (среднее за 1999–2001 гг.) /  
Table 4 – Change of  $C_{орг}$  content in upper horizons of sod-podzolic soil, % of soil weight (average for 1999–2001)

Горизонт / Horizon	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее / Average
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
Ап	1,010±0,036	1,068±0,005	0,916±0,010	0,864±0,010	0,943±0,061	0,960±0,036
А <sub>2</sub> В	0,416±0,068	0,593±0,076	0,484±0,069	0,283±0,014	0,447±0,056	0,445±0,050
В	0,221±0,007	0,243±0,012	0,234±0,009	0,228±0,007	0,272±0,016	0,239±0,009
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
Ап	1,307±0,070	1,438±0,069	1,218±0,065	1,573±0,119	1,221±0,171	1,351±0,068
А <sub>2</sub> В	0,348±0,013	0,577±0,104	0,409±0,056	0,348±0,018	0,320±0,042	0,400±0,046
В	0,255±0,014	0,298±0,033	0,227±0,030	0,255±0,037	0,212±0,014	0,250±0,015

Динамика содержания органического вещества включает в себя и его сезонные колебания. В пахотных горизонтах почв обоих вариантов колебания содержания  $C_{орг}$  в течение вегетационного сезона могут быть значительны (табл. 2, рис. 1). Однако в среднем за 3 года исследований (1999–2001) влияние этого фактора достоверно только в почве окультуренного варианта.

Результаты свидетельствуют о сложном характере динамики  $C_{орг}$  в течение сезона. Из-за ежегодных сдвигов в фазах вегетационных периодов, обусловленных погодными факторами, выявить закономерности изменения содержания углерода проблематично. Характер динамики определен целым комплексом факторов, важнейшими из которых являются погодные, особенности сельскохозяйственных культур, количество и качество пожнивных остатков.

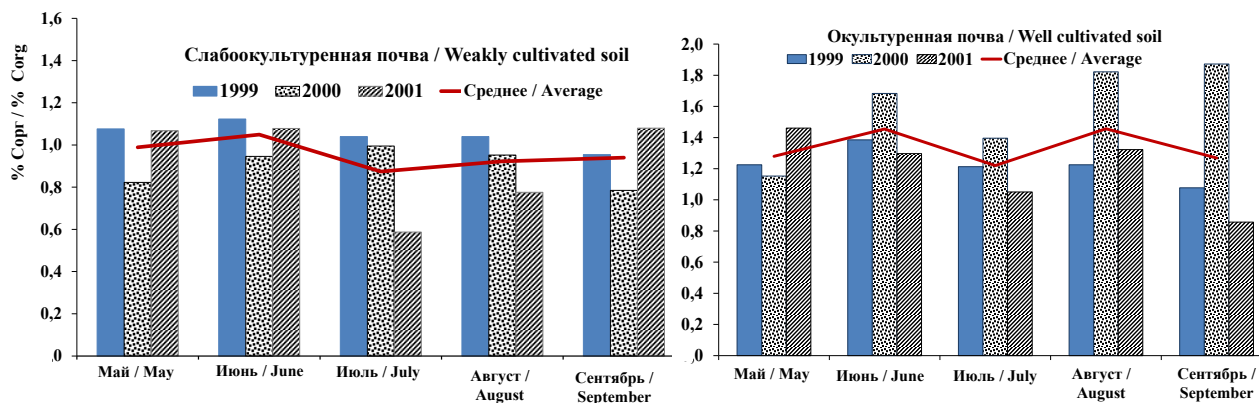


Рис. 1. Изменение содержания  $C_{орг}$  в пахотном горизонте дерново-подзолистей почвы в течение сезонов, % от веса почвы /  
Fig. 1. Change of  $C_{орг}$  content in arable horizon of sod-podzolic soil during seasons, % of soil weight

Тем не менее, обобщение данных за три года показывает, что минимальное содержание  $C_{орг}$  в почве приходится на начало активной вегетации – май. В июне отмечается повышение содержания углерода (рис. 1), что вероятно связано с наступлением благоприятных гидротермических условий для трансформации и гумификации прошлогодних органических остатков. Снижение содержания углерода отмечается и в середине сезона, в июле, поскольку в период активного роста растений ещё незначительно поступление новой органики и её гумификация.

В конце сезона содержание  $C_{орг}$  может как повышаться, так и понижаться. В осенние месяцы размах колебания содержания углерода более значителен, что обусловлено, вероятно, неустойчивой погодой с резкими колебаниями температуры и влажности. Начало гумификации пожнивных остатков приводит к повышению содержания углерода гумуса. Однако некоторые авторы отмечают и для целинных и пахотных почв как понижение содержания органического углерода в почве, так и его восстановление в конце сезона до исходного уровня [21]. Таким образом, наиболее активная

трансформация органического вещества в пахотной дерново-подзолистой почве наблюдается в первой половине вегетационного сезона, при наиболее благоприятных гидротермических, погодных факторах.

Сезонная динамика  $C_{орг}$  наблюдается и в нижележащих горизонтах. Однако из-за высокой variability данных она не всегда достоверна.

Важнейшей частью почвенного органического вещества является его лабильная составляющая. По абсолютному содержанию лабильного органического вещества ( $C_{лов}$ , выраженное в % от веса почвы) пахотные горизонты обеих почв достоверно не различаются (табл. 5). Лабильные органические вещества почвы очень подвижны и их содержание быстро меняется. Результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о достоверной динамике содержания  $C_{лов}$  по годам и сезону в пахотном горизонте почвы обоих вариантов.

В подпахотных горизонтах обеих почв содержание  $C_{лов}$ , по сравнению с Ап, снижается и практически не отличается в почве разных вариантов (табл. 6). Различия в содержании по вариантам недостоверны.

**Таблица 5 – Изменение содержания  $C_{лов}$  в пахотном горизонте дерново-подзолистой почвы разной степени окультуренности (% от веса почвы) /**

**Table 5 – Change of  $C_{lab}$  in arable horizon of sod-podzolic soil of different degree of cultivation (% of soil weight)**

Год / Year	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее (А) / Average (A)
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
1999	0,187±0,100	0,128±0,005	0,078±0,002	0,120±0,006	0,081±0,004	0,119b
2000	0,098±0,002	0,092±0,006	0,154±0,014	0,080±0,008	0,074±0,001	0,100a
2001	0,128±0,012	0,154±0,005	0,117±0,009	0,087±0,009	0,136±0,05	0,124d
Среднее (В) / Average (B)	0,138d	0,125cd	0,116bc	0,095a	0,097a	HCP <sub>05</sub> (A) / LDS <sub>05</sub> (A) = 0,009 HCP <sub>05</sub> (B) / LDS <sub>05</sub> (B) = 0,012
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
1999	0,123±0,010	0,113±0,011	0,086±0,004	0,123±0,008	0,072±0,003	0,102b
2000	0,129±0,003	0,137±0,001	0,128±0,004	0,116±0,004	0,101±0,001	0,122c
2001	0,116±0,006	0,119±0,005	0,072±0,001	0,118±0,13	0,047±0,001	0,094a
Среднее (В) / Average (B)	0,123c	0,128c	0,100b	0,117c	0,074a	HCP <sub>05</sub> (A) / LDS <sub>05</sub> (A) = 0,006 HCP <sub>05</sub> (B) / LDS <sub>05</sub> (B) = 0,007

Примечания: Фактор А – год; фактор В – месяц; (±) – ошибка среднего; \* средние значения, обозначенные разными буквами, различаются существенно по критерию Дункана /

Notes: Factor A – year; Factor B – month; (±) – error of the average; \* average values, denoted by different letters, differ significantly by Duncan's test



**Таблица 6 – Изменение содержания  $C_{\text{лов}}$  в верхних горизонтах дерново-подзолистой почвы, % от веса почвы (среднее за 1999–2001 гг.) /**

**Table 6 – Change of  $C_{\text{lab}}$  content in upper horizons of sod-podzolic soil, % of soil weight (average for 1999–2001)**

Горизонт / Horizon	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее / Average
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
Ап	0,138±0,026	0,125±0,018	0,116±0,022	0,095±0,012	0,097±0,020	0,114±0,008
А <sub>2</sub> В	0,058±0,014	0,074±0,019	0,051±0,003	0,032±0,003	0,050±0,014	0,053±0,007
В	0,035±0,005	0,035±0,002	0,030±0,005	0,037±0,001	0,037±0,009	0,035±0,001
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
Ап	0,123±0,005	0,128±0,007	0,100±0,023	0,117±0,001	0,074±0,022	0,108±0,010
А <sub>2</sub> В	0,048±0,001	0,077±0,019	0,057±0,005	0,050±0,009	0,034±0,008	0,053±0,007
В	0,030±0,002	0,041±0,006	0,032±0,005	0,039±0,015	0,025±0,007	0,033±0,003

Доля лабильного углерода в общем органическом углероде меняется в широких пределах в зависимости от варианта исследования, горизонта и периода сезона [22]. Содержание  $C_{\text{лов}}$ , выраженное в % от содержания  $C_{\text{орг}}$ , достоверно выше в слабоокультуренной почве (табл. 7). Органическое вещество пахотного горизонта слабоокультуренного участка содержит в своём составе достоверно примерно в полтора раза больше лабильных элементов, чем в пахотном горизонте окультуренного, что, вероятно, свидетельствует о большей неустойчивости гумуса при истощительном использовании почвы. При высокой степени окультуривания значительная часть лабильного гумуса, по-

видимому, связана кальцием в малоподвижные соединения. Отмечается тенденция уменьшения доли  $C_{\text{лов}}$  к концу сезона в обеих почвах. На слабоокультуренном участке доля лабильного органического вещества близка в разных горизонтах, на окультуренном участке доля  $C_{\text{лов}}$  больше в подпахотных горизонтах, чем в пахотном. Это связано как с более активной трансформацией органики в пахотном горизонте, так и миграцией лабильных соединений из этого горизонта.

Доли  $C_{\text{лов}}$  в  $C_{\text{орг}}$  в горизонтах А<sub>2</sub>В и В в разных вариантах и по годам исследования практически не различались.

**Таблица 7 – Изменение содержания доли  $C_{\text{лов}}$  в  $C_{\text{орг}}$  в верхних горизонтах дерново-подзолистой почвы, % (среднее за 1999–2001 гг.) /**

**Table 7 – Change of ratio of  $C_{\text{lab}}$  in  $C_{\text{org}}$  in upper horizons of sod-podzolic soil, % (average for 1999–2001)**

Горизонт / Horizon	Май / May	Июнь / June	Июль / July	Август / August	Сентябрь / September	Среднее / Average
Слабоокультуренная почва / Weakly cultivated soil						
Ап	13,79±1,86	11,88±1,34	15,34±4,44	9,80±1,16	10,61±1,58	12,28±1,02
А <sub>2</sub> В	15,98±3,21	14,48±3,06	13,42±2,33	11,54±2,34	11,39±1,43	13,36±0,87
В	16,02±1,45	15,03±1,87	13,03±1,87	14,98±0,83	12,92±1,50	14,40±0,61
Окультуренная почва / Well cultivated soil						
Ап	9,59±1,33	8,51±0,34	7,74±0,72	7,64±1,02	5,90±0,40	7,87±0,61
А <sub>2</sub> В	13,97±1,08	14,87±0,50	13,07±0,51	14,07±1,78	11,82±2,41	13,56±0,52
В	12,73±2,49	13,79±1,85	13,38±0,72	14,54±1,82	11,84±2,25	13,26±0,46

Лабильный углерод также подвержен существенной сезонной динамике, которая имеет сложный характер (рис. 2). В почве обоих вариантов характер динамики  $C_{\text{лов}}$  близок. Максимальное содержание  $C_{\text{лов}}$  и доля

его в  $C_{\text{орг}}$  отмечены в первой половине вегетационного сезона. Именно в этот период идут процессы активной трансформации органического вещества.

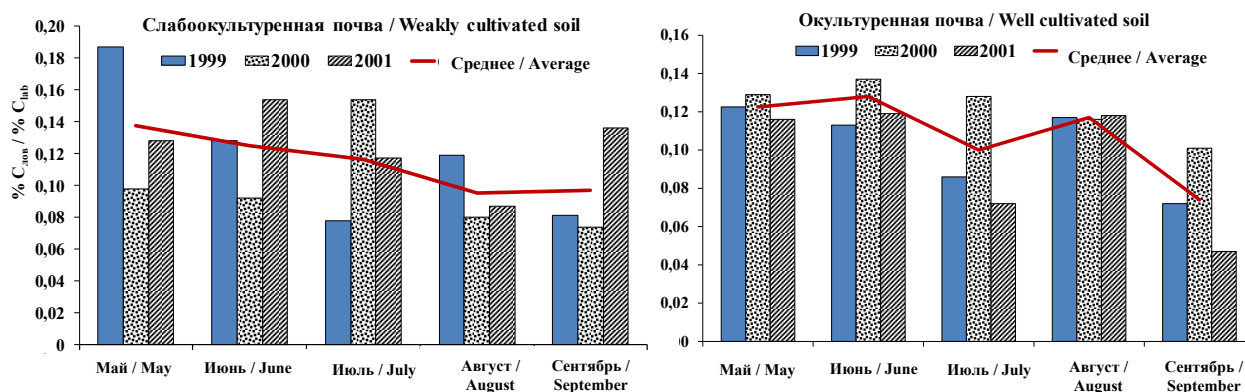


Рис. 2 Изменение содержания  $C_{\text{лов}}$  в пахотном горизонте дерново-подзолистей почвы в течение сезонов, % от веса почвы /

Fig. 2. Change of  $C_{\text{lab}}$  content in arable horizon of sod-podzolic soil during seasons, % of soil weight

Прослеживается тенденция снижения его содержания от весны к осени в обоих вариантах. Кроме того, в почве окультуренного варианта отмечается минимум содержания в середине сезона (июль). Других общих закономерностей в сезонной динамике  $C_{\text{лов}}$  за три года выявить не удалось, что связано с высокой его изменчивостью, обусловленной погодными особенностями лет наблюдения, с различным количеством пожнивно-корневых остатков сельскохозяйственных культур, пространственной вариабельностью содержания.

**Выводы.** Таким образом, многолетнее (около 20 лет) окультуривание дерново-подзолистей почвы способствует повышению содержания общего органического углерода. В пахотном горизонте почвы окультуренного варианта по сравнению со слабоокультуренным содержание  $C_{\text{орг}}$  значительно достоверно выше (на 16–76 %).

Степень окультуренности пахотной почвы не влияет на абсолютное содержание  $C_{\text{лов}}$ . Однако его доля в  $C_{\text{орг}}$  значительно выше в слабоокультуренной почве (12,28 %) по сравнению с окультуренной (7,87 %).

Различия в содержании  $C_{\text{орг}}$  в зависимости от степени окультуренности почвы затрагивают в основном только верхний пахотный горизонт. Различия в содержании углерода в нижележащих горизонтах по вариантам исследования невелики.

Содержание  $C_{\text{орг}}$  и  $C_{\text{лов}}$  значительно достоверно изменяется по годам исследования, что вероятно обусловлено сочетанием погодных и антропогенных факторов.

Изменение содержания общего углерода в течение вегетационных сезонов существенно только в окультуренной почве, в слабоокультуренной изменения незначительны и недостоверны. Максимальное содержание  $C_{\text{орг}}$  отмечается в первой половине вегетационного сезона и иногда в конце, минимум наблюдается в середине сезона (июль), что вероятно обусловлено активной трансформацией органического вещества в этот период.

Содержание лабильного органического вещества в течение вегетационного сезона очень динамично. В почве обоих вариантов  $C_{\text{лов}}$ , как правило, максимально в первой половине сезона и снижается к его завершению.

#### Список литературы

- Семенов В. М., Лебедева Т. Н. Проблема углерода в устойчивом земледелии: агрохимические аспекты. Агрохимия. 2015;(11):3–12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24881562> EDN: UYMOLN
- Савич В. И., Наумов В. Д., Борисов Б. А., Седых В. А., Каменных Н. Л., Тазин И. И. Экологическая оценка органического вещества почв. АгроЭкоИнфо. 2023;(1(55)):21. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50481646> EDN: BSWRAK
- Орлов Д. С., Бирюкова О. Н., Суханова Н. И. Органическое вещество почв Российской Федерации. М.: Наука, 1996. 256 с. Режим доступа: <https://libcats.org/book/1472295>
- Тулина А. С. Влияние температуры, влажности и внесения соломы на динамику минерализации органического вещества и почвенные пулы углерода и азота. Агрохимия. 2019;(3):3–18. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119030141> EDN: SRFCQZ
- Васбиева М. Т. Изменение агрохимических показателей дерново-подзолистей почвы Предуралья при длительном применении удобрений. Почвоведение. 2021;(1):90–99. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010135> EDN: ХАККРА
- Бортник Т. Ю., Карпова А. Ю., Клековкин К. С. Изменение показателей плодородия дерново-среднеподзолистей среднесуглинистой почвы в результате длительного применения удобрений. Эволюция и деградация почвенного покрова: сб. научн. ст. по мат-лам VI Международ. научн. конф. Ставрополь, 2022. С. 74–77.

7. Когут Б. М., Семенов В. М. Эволюция доминирующих парадигм в учении о гумусе и почвенном органическом веществе. *Агрохимия*. 2015;(12):3–19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25685811> EDN: VQCDQB
8. Мамонтов В. Г., Родионова Л. П., Быковский Ф. Ф., Сирадж А. Лабильное органическое вещество почвы: номенклатурная схема, методы изучения и агроэкологические функции. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2000;(4):94–108.
9. Заварзина А. Г., Данченко Н. Н., Демин В. В., Артемьева З. С., Когут Б. М. Гуминовые вещества – гипотезы и реальность. *Почвоведение*. 2021;(12):1449–1480. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169> EDN: GOVPIJ
10. Цховребов В. С. Активная и стабильная части органического вещества. Воспроизводство плодородия почв и продовольственная безопасность в современных условиях: сб. тр. II Международ. научн.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Б. И. Горизонтова. Казань: Казанский ГАУ, 2023. С. 55–66.
11. Воропаева Е. В., Воропаев В. В. Изменение содержания и качественного состава гумуса окультуренной дерново-подзолистой почвы в различных системах удобрения овощного севооборота. *Агрохимия*. 2019;(12):32–38. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119090126> EDN: UQDUYE
12. Байбеков Р. Ф., Хайдуков К. П., Коваленко А. А., Забугина Т. М. Качественный состав органического вещества дерново-подзолистой почвы в длительном полевом опыте. *Земледелие*. 2020;(1):8–11. DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10102> EDN: QNPYKG
13. Козлова А. А., Гаврилова А. В., Куклина А. Е. Подвижное и лабильное органическое вещество как показатель оценки плодородия почв. Современные проблемы и перспективы развития агрохимии, земледелия и смежных наук о плодородии почв и продуктивности полевых культур в Сибири: мат-лы междунар. научн.-производ. конф. с междунар. участием. Красноярск: ФГБНУ ФИЦ «Красноярский НЦ Сибирского отделения РАН», 2023. С. 117–122. DOI: [https://doi.org/10.52686/9785604525050\\_180](https://doi.org/10.52686/9785604525050_180) EDN: JHJALI
14. Мамонтов В. Г. Лабильное органическое вещество почвы. Почвы - стратегический ресурс России: тез. докл. VIII съезда Общества почвоведов им. В. В. Докучаева и Школы молодых ученых по морфологии и классификации почв. Отв. ред. С. А. Шоба, И. Ю. Савин. М.-Сыктывкар: Институт биологии Коми УрО РАН, 2021. С. 152–153. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49955281> EDN: KULKYD
15. Афанасьева Т. И., Труфанов А. М., Иванова М. Ю., Цвик Г. С. Динамика содержания гумуса почвы при различном по интенсивности её сельскохозяйственном использовании. *Вестник АПК Верхневолжья*. 2021;(3(55)):5–11. DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.55.3.001> EDN: METEQI
16. Бакина Л. Г., Орлова Н. Е., Орлова Е. Е. Устойчивость процессов сезонной трансформации органического вещества почв к антропогенным воздействиям. Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям: тез. докл. Всерос. конф. 24-25 апреля 2002 г. М.: Почв. ин-т им. В.В. Докучаева, 2002. С. 202.
17. Сычёв В. Г., Налиухин А. Н., Шевцова Л. К., Рухович О. В., Величенко М. В. Влияние систем удобрения на содержание почвенного органического углерода и урожайность сельскохозяйственных культур: результаты длительных полевых опытов географической сети России. *Почвоведение*. 2020;(12):1521–1536. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138> EDN: QUGQQM
18. Володина Т. И., Чухина О. В., Демидова А. И. Влияние различных систем удобрения на гумусовое состояние дерново-подзолистых почв Псковской области. *Агрохимический вестник*. 2020;(3):19–24. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43166071> EDN: ARBLVV
19. Васбиева М. Т. Влияние длительного применения органических и минеральных удобрений на динамику содержания органического углерода и азотный режим дерново-подзолистой почвы. *Почвоведение*. 2019;(11):1365–1372. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19110133> EDN: OBYGNI
20. Завьялова Н. Е. Углеродпротекторная емкость дерново-подзолистой почвы естественных и агроэкосистем Предуралья. *Почвоведение*. 2022;(8):1046–1055. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22080160> EDN: AOKTSG
21. Бойцова Л. В., Пухальская Я. В. Динамика содержания органического вещества, его лабильной и инертной частей в дерново-подзолистой супесчаной почве разной степени окультуренности. *Агрофизика*. 2013;(3):14–22.
22. Кондратьева М. А. Лабильное органическое вещество в дерново-подзолистых почвах агроландшафтов. *Агротехнологии XXI века: мат-лы Всерос. научн.-практ. конф. с междунар. участием, посвящ. 100-летию высш. аграр. обр-ния на Урале. Минсельхоз РФ, ФГБОУ ВО «Пермский ГАТУ им. акад. Д. Н. Прянишникова»*. Пермь: ИПЦ Прокрость, 2019. С. 158–162.

#### References

1. Semenov V. M., Lebedeva T. N. The problem of carbon in sustainable agriculture: agrochemical aspects. *Agrokhimiya*. 2015;(11):3–12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24881562>
2. Savich V. I., Naumov V. D., Borisov B. A., Sedykh V. A., Kamennykh N. L., Tazin I. I. Ecological assessment of soil organic matter. *AgroEkoInfo = AgroEcoInfo*. 2023;(1(55)):21. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=50481646>
3. Orlov D. S., Biryukova O. N., Sukhanova N. I. Organic matter of the soils of the Russian Federation. Moscow: Nauka, 1996. 256 p. URL: <https://libcats.org/book/1472295>
4. Tulina A. S. Effects of temperature, moisture and straw incorporation on organic matter mineralization dynamics and soil carbon and nitrogen pools. *Agrokhimiya*. 2019;(3):3–18. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119030141>
5. Vasbieva M. T. Change of agrochemical properties in soddy-podzolic soil owing to long-term application of fertilizers. *Pochvovedenie = Eurasian Soil Science*. 2021;(1):90–99. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21010135>
6. Bortnik T. Yu., Karpova A. Yu., Klekovkin K. S. Changes in fertility indicators of sod-medium podzolic medium loamy soil as a result of prolonged use of fertilizers. Evolution and degradation of soil cover: collection of scientific articles on the materials of the VI International. scientific conf. Stavropol', 2022. pp. 74–77.

7. Kogut B. M., Semenov V. M. The evolution of the dominant paradigms in the theory of humus and soil organic matter. *Agrokhimiya*. 2015;(12):3–19. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=25685811>
8. Mamontov V. G., Rodionova L. P., Bykovskiy F. F., Siradzh A. Labile organic matter of the soil: nomenclature scheme, methods of study and agroecological functions. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2000;(4):94–108. (In Russ.).
9. Zavarzina A. G., Danchenko N. N., Demin V. V., Artem'eva Z. S., Kogut B. M. Humic substances: hypotheses and reality (a review). *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2021;(12):1449–1480. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21120169>
10. Tskhovrebov V. S. The active and stable parts of organic matter. Reproduction of soil fertility and food security in modern conditions: collection of articles of the 2nd International scientific and practical conference dedicated to the memory of professor B. I. Gorizontova. Kazan: *Kazanskiy GAU*, 2023. pp. 55–66.
11. Voropaeva E. V., Voropaev V. V. Change in the content and qualitative composition of humus of cultivated sod-podzolic soil in various fertilization systems of vegetable crop rotation. *Agrokhimiya*. 2019;(12):32–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119090126>
12. Baibekov R. F., Khaidukov K. P., Kovalenko A. A., Zabugina T. M. Qualitative composition of organic matter in sod-podzolic soil in a long field experiment. *Zemledelie*. 2020;(1):8–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0044-3913-2020-10102>
13. Kozlova A. A., Gavrilova A. V., Kuklina A. E. Mobile and labile organic matter as an indicator of soil fertility evaluation. Modern problems and prospects for the development of agrochemistry, agriculture and related sciences on soil fertility and productivity of field crops in Siberia: Proceedings of the international research and production conference with the international participation. Krasnoyarsk: *FGBNU FITs «Krasnoyarskiy NTs Sibirskogo otdeleniya RAN»*, 2023. pp. 117–122. DOI: [https://doi.org/10.52686/9785604525050\\_180](https://doi.org/10.52686/9785604525050_180)
14. Mamontov V. G. Labile organic matter of the soil. Soils are a strategic resource of Russia: thesis of the VIII Congress of the V. V. Dokuchaev Society of Soil Scientists and the School of Young Scientists on Soil Morphology and Classification. *Otv. red. S. A. Shoba, I. Yu. Savin*. Moscow-Sykt'ykar: *Institut biologii Komi UrO RAN*, 2021. pp. 152–153. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49955281>
15. Afanasyeva T. I., Trufanov A. M., Ivanova M. Yu., Tsvik G. S. Dynamics of soil humus content with different in intensity of its agricultural use. *Vestnik APK Verkhnevolzh'ya* = *Bulletin of the AIC of the Upper Volga*. 2021;(3(55)):5–11. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35694/YARCX.2021.55.3.001>
16. Bakina L. G., Orlova N. E., Orlova E. E. Stability of processes of seasonal transformation of soil organic matter to anthropogenic influences. Resistance of soils to natural and anthropogenic actions: tez. doc. All-Russia. conf. April 24–25, 2002 Moscow: *Soil. Institute named after V.V. Dokuchaev*, 2002. P. 202.
17. Sychev V. G., Naliukhin A. N., Shevtsova L. K., Rukhovich O. V., Velichenko M. V. influence of fertilizer systems on soil organic carbon content and crop yield: results of long-term field experiments at the geographical network of research stations in Russia. *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2020;(12):1521–1536. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X20120138>
18. Volodina T. I., Chukhina O. V., Demidova A. I. Influence of various fertilizer systems on the humus state of soddy-podzolic soils of the Pskov region. *Agrokhimicheskii vestnik* = *Agrochemical Herald*. 2020;(3):19–24. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43166071>
19. Vashbieva M. T. Effect of long-term application of organic and mineral fertilizers on the organic carbon content and nitrogen regime of soddy-podzolic soil. *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2019;(11):1365–1372. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19110133>
20. Zavyalova N. E. Carbon reserves and carbon protective capacity of sod-podzolic soil in natural and agricultural ecosystems of the Pre-Urals. *Pochvovedenie* = *Eurasian Soil Science*. 2022;(8):1046–1055. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X22080160>
21. Boytsova L. V., Pukhal'skaya Ya. V. Dynamics of the content of organic matter, its labile and inert parts in sod-podzolic sandy loam soil of varying degrees of cultivation. *Agrofizika* = *Agrophysica*. 2013;(3):14–22. (In Russ.).
22. Kondratyeva M. A. Labile organic matter in sod-podzolic soils of agricultural landscapes. Agrotechnologies of the XXI century: Proceedings of the All-Russian scientific and practical conference with the international participation, dedicated to the 100th anniversary of the higher agricultural education in the Urals. Ministry of Agriculture of the Russian Federation, Perm State Technical University named after Academician D. N. Pryanishnikov. Perm: *IPTs Prokrost'*, 2019. pp. 158–162.

#### Сведения об авторе

✉ **Шихова Людмила Николаевна**, доктор с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела эдафической устойчивости растений, ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Ленина, д. 166а, г. Киров, Российская Федерация, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7371-7588>, e-mail: [shikhova-l@mail.ru](mailto:shikhova-l@mail.ru)

#### Information about the author

✉ **Lyudmila N. Shikhova**, DSc in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Plant Edaphic Resistance, 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](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7371-7588>, e-mail: [shikhova-l@mail.ru](mailto:shikhova-l@mail.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author



## Влияние систем обработки на агрофизические свойства темно-серой лесной почвы и продуктивность звена полевого севооборота

© 2024. Д. А. Дементьев✉, А. А. Фадеев

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

Цель исследований – выявление наиболее эффективного и предпочтительного варианта основной осенней обработки почвы для включения в систему обработки темно-серой лесной почвы при посеве яровых культур. Исследования проводили в 2021–2023 гг. в условиях Чувашской Республики в звене полевого севооборота «ячмень–горох–овес». Сравнивали отвальные и безотвальные приемы основной осенней обработки: вспашка (26–28 см) – контроль; культивация (15–17 см); дискование (12–14 см); без обработки. Систему обработки почвы завершала поверхностная весенняя предпосевная культивация на глубину 6 см. За исследуемые годы средняя плотность почвы в слое 0–30 см находилась в пределах оптимальных значений: после отвальной вспашки – 0,93–1,09 г/см<sup>3</sup>; после культивации – 0,98–1,13 г/см<sup>3</sup>; без основной обработки – 1,05–1,20 г/см<sup>3</sup>. Средние значения скважности почвы после вспашки находились в пределах 50,4–62,5 % и снижались при отказе от основной обработки до 52,0–57,4 %. В засушливых условиях вегетации 2021 г. суммарный запас продуктивной влаги в слое почвы 0–30 см был на 12–14 % выше по культивации, чем по вспашке. Анализ структурно-агрегатного состояния почвы (0–20 см) выявил возрастание доли пылеватых частиц к концу опыта после вспашки с 3,9 до 6,9 %. При использовании в качестве основной обработки стерневого культиватора увеличилась доля глыбистой фракции. Среднегодовая продуктивность звена севооборота при отвальной вспашке самая высокая – 20,5 ц зерн. ед. с 1 га, после культивации – 19,5 ц зерн. ед. с 1 га. При этом вспашка является самым затратным и экономически невыгодным способом основной подготовки почвы. После культивации комбинированным стерневым агрегатом КОС-3.0 рентабельность возделывания культур значительно выше – 9,4–18,1 % по зерновым в засушливые годы и 96,9 % по гороху при оптимальных гидротермических условиях (по вспашке – 8,3...4,2 % и 73,7 % соответственно).

**Ключевые слова:** основная обработка почвы, вспашка, культивация, дискование, урожайность, плотность почвы, запас продуктивной влаги, ресурсосбережение

**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 систем обработки на агрофизические свойства темно-серой лесной почвы и продуктивность звена полевого севооборота. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1100-1111. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1100-1111>

Поступила: 11.06.2024

Принята к публикации: 10.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2025

## The effect of soil cultivation systems on agronomic and physical properties of dark gray soil and productivity of the field crop rotation link

© 2024. Dmitry A. Dementyev✉, Andrey A. Fadeev

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

The purpose of the research is to identify the most effective and preferable variant of the basic autumn tillage for inclusion of dark gray forest soil into the tillage system when sowing spring crops. The research was carried out in 2021–2023 in the conditions of the Chuvash Republic in the link of the field crop rotation "barley–peas–oats". Moldboard and non-moldboard autumn soil tillage methods were compared: plowing (26–28 cm) – control; cultivation (15–17 cm); disking (12–14 cm); without tillage. The tillage system was completed by surface early pre-sowing cultivation to a depth of 6 cm. During the studied years, the average soil density in the 0–30 cm layer was within the optimal values: after moldboard plowing it was 0.93–1.09 g/cm<sup>3</sup>, after cultivation – 0.98–1.13 g/cm<sup>3</sup>, without basic tillage – 1.05–1.20 g/cm<sup>3</sup>. The average values of the soil porosity after plowing were in the range of 50.4–62.5 % and decreased with the abandonment of the basic tillage to 52.0–57.4 %. In arid conditions of 2021 growing season, the total supply of productive moisture in the 0–30 cm soil layer was 12–14 % higher after cultivation than after plowing. The analysis of the structural and aggregate state of the soil (0–20 cm) revealed an increase in the proportion of dusty particles by the end of the experiment after plowing from 3.9 to 6.9 %. When using a stubble cultivator as the basic tillage unit, the proportion of the lumpy fraction increased. The average annual productivity of the crop rotation link during moldboard plowing was the highest – 20.5 c/ha of grain units per 1 ha, after cultivation – 19.5 c of grain units per 1 ha. At the same time, plowing is the most expensive and economically unprofitable way of basic soil preparation. After cultivation with a KOS-3.0 combined stubble cultivator, the profitability of crop cultivation was significantly higher – 9.4–18.1 % after cereals in dry years and 96.9 % after peas under optimal hydrothermal conditions (for plowing – 8.3–4.2 % and 73.7 %, respectively).

**Keywords:** basic tillage, plowing, cultivation, disking, yield, soil density, productive moisture reserve, resource conservation



**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-2022-0005).

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:** Dementyev D. A., Fadeev A. A. The effect of soil cultivation systems on agronomic and physical properties of dark gray soil and productivity of the field crop rotation link *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1100–1111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1100-1111>

Received: 11.06.2024

Accepted for publication: 10.12.2024 Published online: 25.12.2024

В современном мире всё острее встаёт вопрос сохранения почвенных ресурсов как основного источника производства продуктов питания для постоянно растущего населения земного шара. Традиционная система обработки почвы на основе отвального способа приводит, по мнению Д. А. Фоули с соавт. (J. A. Foley et al.) [1], к деградации земель, водных ресурсов, биоразнообразия и климата в глобальном масштабе. Несмотря на то, что уже длительное время в мире практикуют новые ресурсосберегающие технологии, позволяющие не только сохранять почву, но и воспроизводить её плодородие, их внедрение по разным причинам идёт крайне медленно. Так, традиционная вспашка, как главный элемент основной обработки почвы, является максимально энергоёмкой, длительной по времени, неудовлетворяющей современным требованиям бережного воздействия на почву и окружающую среду, но по-прежнему для многих хозяйств считается единственным вариантом почвообработки [2].

Из-за интенсивных механических обработок усиливается минерализация органической части почвы и, если в почву не вносится достаточное количество органических удобрений, это приводит к быстрой деградации обрабатываемого почвенного слоя, особенно на чёрных парах, где потери органического вещества на неприкрытых растительностью или мульчей участках при механическом уничтожении сорной растительности просто катастрофические [3]. Интенсивные механические обработки увеличивают потери гумуса, разрушают почвенную структуру, угнетают почвенную микрофлору, усиливают эрозионные процессы, способствуют смыву почвы и питательных веществ, проявлению ветровой и водной эрозии почвы. За последние 50–60 лет наиболее плодородные черноземы России потеряли 25–50 % имевшегося в них гумуса. По данным почвоведов, в Российской Федерации в слое почвы 0–30 см запасы гумуса ежегодно снижаются в среднем на 0,3–0,7 %, что составляет 0,62 т/га. В связи

с этим в мировой практике и России создаются и получают широкое распространение минимальные и нулевые обработки почв на основе новых технических средств для их проведения [4]. Вспашка почвы, оставаясь наиболее энергоёмким и продолжительным по сроку выполнения приёмом в технологии возделывания сельскохозяйственных культур, в недостаточной мере удовлетворяет современным требованиям почвосбережения, поэтому актуальность поиска путей минимизации основной обработки почвы без снижения урожаев сельскохозяйственных культур и при сохранении окружающей среды имеет большое практическое значение [5]. Например, для обеспечения долгосрочной устойчивости органического вещества черноземных почв России предлагается минимизировать обработку почвы, применяя в том числе прямой посев в органический мульчирующий слой [6, 7, 8].

Опытная работа по изучению способов сокращения воздействия на почвенный покров проводится по всему миру. В России, богатой сельскохозяйственными угодьями, исследователи также стремятся изучать и внедрять ресурсосберегающие технологии в земледелии. Так, в Краснодарском НИИСХ им. П. П. Лукьяненко на выщелоченном чернозёме в стационарном опыте сравнивали вспашку, чизелевание и дискование. Наибольшее количество агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) образовалось при использовании системы минимальной мульчирующей обработки почвы. Урожайность озимой пшеницы и озимого ячменя не зависела от системы основной обработки почвы. Выявлено, что традиционная система обработки почвы на основе вспашки более затратная, чем минимальные мульчирующие на 26–29 %, а условно чистый доход ниже с 1 га на 18–22 % [9].

В Кемеровской области на выщелоченном чернозёме в чистых и бинарных посевах ячменя стабильные показатели содержания ценных структурных агрегатов размером 0,25–10 мм наблюдали в почве после комбинированной минимальной обработки почвы – 68,3–68,9 %

при коэффициенте структурности 2,15–2,21. В сравнении с глубокой отвальной обработкой наибольшее увеличение плотности почвы отмечали при нулевой системе обработки – на 6,2–9,4 % [10].

В Курской области в 2020–2021 гг. исследования проводили с целью изучения влияния различных способов основной обработки почвы (вспашка с оборотом пласта на 20–22 см; комбинированная обработка – дискование + чизелевание на 20–22 см; поверхностная обработка – дискование до 8 см; прямой посев) на агрофизические свойства чернозема типичного, урожайность и качество семян сои (предшественник – озимая пшеница). При вспашке плотность почвы была равномерной по всему пахотному слою и находилась на уровне 1,02 г/см<sup>3</sup>. При других обработках плотность верхнего слоя почвы 0–10 см существенно не изменялась – 0,99–1,04 г/см<sup>3</sup>. В слое почвы 10–20 см везде, кроме вспашки, плотность почвы возрастала до 1,12–1,19 г/см<sup>3</sup> и характеризовалась как слабоуплотненная. Содержание агрономически ценных агрегатов (0,25–10 мм) как в слое 0–10 см, так и 10–20 см было самым высоким при прямом посеве – 66,6 % [11].

Во Владимирской области на серых лесных почвах обработка плугом в сравнении с мелкой поверхностной увеличила глыбистость почвы и уменьшила в ней запасы влаги [12].

Накопление и сохранение влаги в почве зависит от многих факторов, среди которых важную роль играет способ обработки почвы и предшественник. При многих положительных сторонах вспашки оборачивание пласта приводит к увеличению испарения влаги, вызывая ее недостаток. Поверхностная и мелкая обработки черноземных почв в исследовании О. И. Власовой с соавт. [13] на Ставрополье способствовали увеличению содержания влаги в почве по сравнению с комбинированной и тем более отвальной обработкой. По данным Д. В. Митрофанова [14], при плоскорезной обработке почвы в слое 0–100 см запасы продуктивной влаги под зерновыми были выше, чем при нулевой. Опыты в Курской области показали положительную роль вспашки для увеличения запасов продуктивной влаги в сравнении с плоскорезной и поверхностной обработками [15].

Полученные результаты исследований по регионам России показывают, что на серых лесных почвах эффективность различных способов и приемов обработки изучена недостаточно, что указывает на несомненную актуальность изучения воздействия различных почвообрабатывающих орудий на сохранение плодородия серых лесных почв и урожайность сельскохозяйственных культур в условиях Чувашской Республики. Также остаётся открытым вопрос экономической обоснованности различных вариантов подготовки почвы к посеву в современных условиях.

**Цель исследования** – изучить эффективность системы обработки темно-серой лесной почвы на основе разных способов и приемов основной обработки, выявить их влияние на агрофизическое состояние почвы и продуктивность звена полевого севооборота.

**Научная новизна** – получены данные по сравнительной эффективности способов и приемов основной обработки темно-серой лесной почвы под основные зерновые культуры в звене севооборота.

**Материал и методы.** Исследования проводили в 2020–2023 гг. на темно-серой лесной тяжелосуглинистой иловато-среднепылевой почве в условиях многолетнего стационарного опыта Чувашского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Агрохимическая характеристика почвы участка следующая: гумус (по Тюрину)<sup>1</sup> – 5,6 %; подвижный фосфор – 156,3 мг/кг и обменный калий – 59,0 мг/кг почвы (по Кирсанову); сумма поглощенных оснований (по Каппену)<sup>2</sup> – 16,4 ммоль/100 г почвы; рН<sub>KCl</sub> – 5,01. В опыте изучали способы и приемы механической обработки почвы. Исследования проведены в трехкратной повторности. Общая площадь каждой элементарной делянки – 300 м<sup>2</sup> (6х50 м), учетная – 100 м<sup>2</sup>. Схема опыта по вариантам системы обработки почвы различалась способами (отвальная, безотвальная) и приемами (вспашка, культивация, дискование) основной осенней обработки (табл. 1). В схему опыта введен вариант без основной обработки. В качестве контрольного варианта принята традиционная отвальная обработка почвы. Систему обработки почвы завершала весенняя предпосевная культивация (единая по всем изучаемым вариантам основной обработки).

<sup>1</sup>Середа Н. А., Валеев В. М., Баязитова Р. И., Алибаев А. А. Практикум по агрохимии: учебное пособие. Уфа: БГАУ, 2004. С. 115.

<sup>2</sup>ГОСТ 27821-2020. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Стандартинформ, 2020. 9 с. URL: <http://gost.gtsever.ru/Data/739/73951.pdf>

*Таблица 1 – Варианты системы обработки почвы /  
Table 1 – Soil tillage systems*

Основная осенняя обработка (арперат) / Basic autumn tillage (unit)			
отвальная / moldboard tillage	безотвальная / non-moldboard tillage		без обработки / without tillage
вспашка (контроль) / plowing (control) (ПЛН-4-35 на 26–28 см)	культивация / cultivation (KOS-3,0 на 15–17 см)	дискование /disking (БДМ-4-3,2 на 12–14 см)	-
Весенняя предпосевная культивация (Паук-6 на 6 см) / Spring pre-sowing cultivation (The Spider is 6 by 6 cm)			

Орудия, применяемые в опыте для поверхностной обработки почвы:

1. Комбинированное орудие KOS-3 производства Польши. Оснащено широкими стрельчатыми лапами усиленного типа, за задним рядом лап установлены загортачи и трубчатый каток. Производит рыхление без выворачивания пласта на глубину до 17 см, выравнивание, прикатывание почвы.

2. Борона дисковая модифицированная (дискатор) – БДМ-4-3,2.

3. Комбинированное орудие Паук-6 Пензенского завода ЗАО «Пензаагрореммаш». Оборудовано усиленными культиваторными стрельчатыми лапами, секцией коноидальных ножевых (игольчатых) дисков и спиральным планчатым катком. Производит рыхление на глубину до 16 см, выравнивание, прикатывание.

Исследовательскую работу проводили в звене полевого севооборота: ячмень (сорт Эльф) – горох (сорт Гунтер) – овес (сорт Медведь).

Технология возделывания культур общепринятая для данного региона<sup>3</sup>. В вариантах посев проводили сеялкой СЗ-5,4 с нормой высева овса и ячменя 5 млн всхожих семян, гороха – 1,3 млн всхожих семян на га. Культуры убирали комбайном Sampo 500 с оставлением неизмельченной соломы в поле. Плотность почвы, общую скважность, запасы продуктивной влаги определяли послойно (каждые 10 см) до глубины 0–30 см общепринятыми методами<sup>4</sup>. Почва извлекалась буром Некрасова<sup>5</sup>. Агрегатный состав определяли методом сухого фракционирования образцов по методу Н. И. Савинова<sup>6</sup>. Опытные данные обрабатывали методом дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову<sup>7</sup>.

За вегетационный период в годы исследований сложились следующие погодные

условия. В 2021 г. апрель и май характеризовались повышенными температурами воздуха и количеством осадков по сравнению со среднемесячными многолетними нормами, июнь и июль – жаркой и засушливой погодой: температуры на 3,6 и 2,5 °C выше многолетних значений, осадки – ниже на 32,5 мм. ГТК за вегетационный период составил 0,76 (слабая степень засухи).

Погодные условия 2022 г. отличались переувлажненным теплым апрелем и холодным маем. В июне и июле отмечены оптимальные температуры и осадки выше нормативных многолетних значений. Август сложился самым жарким и засушливым месяцем – при полном отсутствии дождей среднемесячная температура составила 21,9 °C, что на 4,2 °C выше нормативной. ГТК за вегетацию – 1,3 (нормальное увлажнение).

Погодные условия 2023 г. для возделываемых культур были экстремальными. Апрель и май выделились аномальным теплом и малым количеством осадков. Июнь и июль были прохладными на фоне недостатка влаги. В августе суммарно выпало 13 мм малопродуктивных осадков. За период «апрель–август» сумма эффективных температур составила 2383,8 °C, осадков выпало 144 мм. ГТК – 0,6 (слабая степень засухи).

**Результаты и их обсуждение.** Одним из показателей, влияющих на рост и развитие культур, является плотность (объемная масса) почвы, которая считается оптимальной для большинства культур при значениях от 0,9 до 1,2 г/см<sup>3</sup>. В таблице 2 приведены показатели объемной массы почвы по годам исследований в зависимости от применяемых приемов осенней обработки почвы.

<sup>3</sup>Система земледелия Чувашской Республики на 1996–2000 годы. Чебоксары, 1996. 240 с.

<sup>4</sup>Васильев И. П., Туликов А. М., Баздырев Г. И. Земледелие: практикум: учебное пособие. Среднее профессиональное образование. М.: Инфра-М, 2019. 424 с.

<sup>5</sup>Качинский Н. О почвенных борах для взятия образцов с ненарушенной структурой. М.: Главнаука, Государственное изд-во, 1925. 19 с.

<sup>6</sup>Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие для вузов. 3-е изд., испр. и доп. М.: Агропромиздат, 1986. 415 с.

<sup>7</sup>Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.

<sup>8</sup>Туликов А. М., Баздырев Г. И., Лошаков В. Г., Пупонин А. И., Рассадин А. Я., Сафонов А. В. Земледелие: учебник для ВУЗов. М.: ООО КолосС, 2002. 551 с. URL: <https://djvu.online/file/peNXsxT6xqqUJ>

**Таблица 2 – Объемная масса темно-серой лесной почвы в зависимости от приемов основной обработки почвы, г/см<sup>3</sup> /**

**Table 2 – The volumetric mass of dark gray forest soil, depending on the methods of basic soil tillage, g/cm<sup>3</sup>**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	Перед посевом / Before sowing				После уборки / After harvesting			
	слой почвы, см / soil layer, cm							
	0–10	10–20	20–30	0–30*	0–10	10–20	20–30	0–30*
Ячмень (2021 г.) / Barley (2021)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	0,98	0,94	1,24	1,05	0,98	1,04	1,19	1,07
Культивация / Cultivation	0,99	1,13	1,25	1,12	1,03	1,13	1,22	1,13
Дискование / Disking	1,02	1,21	1,2	1,14	1,04	1,12	1,19	1,12
Без обработки / No tillage	1,02	1,23	1,23	1,16	1,08	1,19	1,23	1,17
НСП <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,07	0,06	Fф<Fт	-	0,02	0,01	Fф<Fт	-
Горох (2022 г.) / Peas (2022)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	0,86	0,93	0,99	0,93	0,97	0,87	1,18	1,01
Культивация / Cultivation	0,96	0,94	1,05	0,98	1,03	1,08	1,17	1,09
Дискование / Disking	0,86	1,1	1,03	1,00	1,12	1,09	1,11	1,11
Без обработки / No tillage	0,98	1,07	1,11	1,05	1,19	1,13	1,28	1,20
НСП <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,02	0,03	0,02	-	0,07	0,05	0,02	-
Овёс (2023 г.) / Oats (2023)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	0,98	0,89	0,91	0,93	0,99	1,12	1,16	1,09
Культивация / Cultivation	1,04	0,98	1,04	1,02	1,00	1,1	1,14	1,08
Дискование / Disking	1,0	1,1	1,04	1,05	0,99	1,01	1,1	1,03
Без обработки / No tillage	1,09	1,21	1,18	1,16	1,11	1,19	1,18	1,16
НСП <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,01	0,07	0,02	-	0,02	0,02	0,01	-

\*Среднее / \*Average

По данным таблицы 2 можно отметить, что плотность почвы после вспашки во все годы исследований имела самые низкие значения как весной до посева, так и после уборки зерновых. Это объясняется ежегодной осенней обработкой горизонта почвы 0–26 см с последующим крошением и рыхлением. Замена плуга на комбинированный культиватор в качестве основной осенней подготовки почвы приводит в большинстве случаев к уплотнению слоев почвы весной, но средний показатель объемной массы слоя 0–30 см имеет более благоприятные значения, чем при применении дискатора либо отсутствии основной подготовки почвы. Можно отметить, что в слое 20–30 см при дисковании наблюдается меньшее уплотнение, чем при обработке плугом и культиватором. Объемная масса 30-сантиметрового слоя под минимальной обработкой наибольшая

в сравнении с прочими вариантами как весной, так и осенью. В слоях 10–30 см она близка к равновесной.

Обратной величиной плотности является скважность (пористость) почвы (табл. 3). Поры почвы являются потенциальными накопителями влаги и способствуют аэрации корневой системы. Как и предполагалось, после вспашки количество пор в пахотном слое весной выше, чем в остальных вариантах. Наименьшие значения отмечали в варианте без осенней обработки, при этом значения скважности в слоях 10–20 и 20–30 см варьировали не так значительно, как 0–10 и 10–20 см. В конце вегетации наблюдали снижение количества пор во всех вариантах, особенно при плужной обработке – на 9,4–17,9 %. Несколько меньше почва уплотнялась при культивации KOS-3.0 после уборки гороха и

овса – на 9,1–12,3 %. Менее всего за вегетационный период скважность сократилась в варианте без осенней обработки почвы – на 5,3–8,5 %, т. к. и при весенней культивации слой почвы 10–30 см не подвергался обработкам, что приводило к минимальному изменению показателя.

В посевах овса скважность почвы в начале вегетации была выше, чем в предыдущем году. Предположительно это связано с тем, что стержневая корневая система гороха (предшествующей культуры) после разложения оставила в почве дополнительные поры.

**Таблица 3 – Скважность темно-серой лесной почвы в зависимости от приемов основной обработки, % общего объема почвы /**

**Table 3 – The porosity of dark gray forest soil, depending on the methods of basic tillage, % of the total soil volume**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	Перед посевом / Before sowing				После уборки / After harvesting			
	слой почвы, см / soil layer, cm							
	0–10	10–20	20–30	0–30*	0–10	10–20	20–30	0–30*
Ячмень (2021 г.) / Barley (2021)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	68,7	65,4	53,4	62,5	62,2	56,1	51,5	56,6
Культивация / Cultivation	64,9	55,9	52,2	57,7	60,6	54,8	51,6	55,7
Дискование / Disking	61,2	54,6	53,2	56,3	57,8	53,3	52,9	54,7
Без обработки / No tillage	62,2	51,3	53,9	55,8	54,1	50,8	51,1	52,0
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,9	1,6	0,1	-	1,3	0,7	0,2	-
Горох (2022 г.) / Peas (2022)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	64,1	61,9	55,3	60,4	54,2	51,1	49,8	51,7
Культивация / Cultivation	62,3	61,1	59,5	60,9	54,6	53,7	52,1	53,5
Дискование / Disking	60,3	56,5	56,6	57,8	56,2	52,1	51,6	53,3
Без обработки / No tillage	60,1	55,8	53,6	56,50	54,4	53,3	52,9	53,5
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,5	0,9	1,4	-	0,4	0,4	0,5	-
Овёс (2023 г.) / Oats (2023)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	65,3	62,2	56,4	61,30	57,40	50,8	49,9	50,4
Культивация / Cultivation	64,3	61,8	56,8	61,0	57,6	55,3	53,4	55,4
Дискование / Disking	63,8	58,8	57,7	60,10	55,4	54,1	53,1	54,2
Без обработки / No tillage	61,9	55,5	54,8	57,40	53,5	52,4	51,7	52,5
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,4	0,8	0,4	-	0,5	0,6	0,4	-

\*Среднее / \*Average

Важнейший показатель, который влияет на продуктивность – это запасы продуктивной влаги в почве (табл. 4). Чувашия относится к региону с рискованным земледелием. Несмотря на то, что при вспашке количество пор в почве образуется больше, критическое отсутствие осадков в течение вегетации 2021 и 2023 гг. привело к тому, что при безотвальных способах основной обработки почвы в конце вегетации суммарное количество продуктивной влаги в

слое 0–30 см выше на 14–21 %, чем после вспашки в 2021 г. и на 6 % (при культивации) в 2023 г. Также надо отметить, что в 2021 и 2022 гг. исследований в вариантах без основной обработки к концу вегетации почва сохраняла несколько больше влаги на 2–30 %, чем при применении плуга. Частично это объясняется тем, что растения при отсутствии основной обработки почвы несколько отставали в росте и развитии. Частичная (предпосевная) обра-



ботка на глубину семенного ложа делает рыхлым только поверхностный слой, при этом нижележащие слои уплотняются, и корневая система

развивается слабее, труднее проникая вглубь. Это не позволяет растениям использовать влагу нижележащих слоёв в полной мере.

**Таблица 4 – Влияние приемов основной обработки темно-серой лесной почвы на содержание запасов продуктивной влаги, мм /**

**Table 4 – The effect of basic methods of dark gray forest soil tillage on the content of productive moisture reserves, mm**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage methods	Перед посевом / Before sowing				После уборки / After harvesting			
	слой почвы, см / soil layer, cm							
	0–10	10–20	20–30	0–30*	0–10	10–20	20–30	0–30*
Ячмень (2021 г.) / Barley (2021)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	28,0	22,5	26,7	77,2	7,5	15,4	15,8	38,7
Культивация / Cultivation	35,0	25,8	25,8	86,6	10,5	15,4	18,3	44,2
Дискование / Disking	33,8	19,2	26,7	79,7	12,8	16,7	17,5	47,0
Без обработки / No tillage	25,7	21,7	25,9	74,3	15,7	17,6	17,1	50,4
НCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	1,2	0,9	0,1	-	1,4	5,4	0,4	-
Горох (2022 г.) / Peas (2022)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	24,2	24,5	32,0	80,7	16,9	20,2	18,1	55,2
Культивация / Cultivation	26,8	20,8	26,7	74,3	18,7	20,6	14,6	53,9
Дискование / Disking	16,3	25,4	23,6	65,3	15,5	20,2	14,8	50,5
Без обработки / No tillage	25,7	21,7	26,7	74,1	18,1	20,0	18,1	56,2
НCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	1,9	0,8	1,6	-	0,5	0,1	0,9	-
Овёс (2023 г.) / Oats (2023)								
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	18,7	26,7	30,8	76,2	9,0	11,5	13,5	34,0
Культивация / Cultivation	21,0	21,7	30,1	72,8	9,0	11,6	15,1	35,9
Дискование / Disking	17,5	18,3	28,7	64,5	6,9	11,1	11,2	29,2
Без обработки / No tillage	21,1	23,3	27,7	72,0	6,5	12,7	14,0	33,2
НCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,7	1,5	0,5	-	0,4	0,2	0,6	-

\* Сумма / \*Sum

Таким образом, замена вспашки на культивацию при основной обработке почвы способствовала накоплению запасов продуктивной влаги в почве в условиях недостатка осадков.

Далее рассмотрим влияние различных приемов основной обработки почвы на изменение структурно-агрегатного состава почвы (табл. 5). Анализировалась почва, отобранная с глубины 0–20 см.

Во всех вариантах коэффициент структурности выше 1,5 – отличное агрегатное состояние. Предполагается, что ежегодное оставление соломы в поле способствует сохранению структуры. При этом данный коэффициент ниже

после применения стерневого культиватора KOS-3.0. В основном это связано с увеличением глыбистых агрегатов. Одновременно процентное содержание пылеватых частиц ниже, чем после вспашки. Высокое содержание частиц больше 10 мм и меньше 0,25 мм отмечается и при отсутствии основной осенней обработки почвы. Следует выделить, что после вспашки ежегодно увеличивается количество пылеватых частиц – с 3,9 % в начале опыта до 6,9 % на 3-й год исследований. Этот факт негативно отразится на плодородии почв из-за усиления процессов эрозии и дефляции.

Таблица 5 – Структурно-агрегатный состав темно-серой лесной почвы в зависимости от приемов основной обработки на посевах яровых /  
Table 5 – The structural and aggregate composition of dark gray forest soil, depending on the methods of basic tillage on spring crops

Размер агрегатов, мм / The size of the aggregates, mm	Содержание агрегатов, % / The content of the aggregates, %											
	Ячмень (2021 г.) / Barley (2021)				Горох (2022 г.) / Peas (2022)				Овёс (2023 г.) / Oats (2023)			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
10	18,7	21,5	20,0	20,8	16,3	27,3	17,8	21,8	16,4	22,9	16,6	16,9
7	14,3	15,4	15,9	21,4	17,4	15,0	14,6	12,6	8,1	11,4	9,1	9,8
5	10,5	11,1	14,4	13,1	11,8	8,6	9,7	11,7	7,7	8,1	7,7	7,9
3	3,4	5,1	5,9	5,4	5,3	4,0	4,2	3,0	12,7	12,0	11,2	12,2
2	19,3	19,1	17,5	17,7	19,5	19,0	21,3	16,0	15,3	13,4	9,8	13,7
1	18,4	15,0	18,1	14,8	19,1	18,0	10,6	19,6	13,4	11,7	12,5	10,9
0,5	4,0	4,8	3,0	4,2	2,0	2,4	8,5	5,2	10,8	10,3	11,5	16,0
0,25	7,6	5,8	2,6	1,2	4,4	4,0	9,5	7,2	8,6	7,5	17,1	9,8
Менее 0,25 / Less than 0.25	3,9	2,2	2,6	1,4	4,1	1,8	3,7	2,9	6,9	2,7	4,4	2,7
Агрономически ценная фракция / Agronomically valuable fraction, (>0.25 mm, <10 mm)	77,5	76,3	77,4	77,8	81,5	67,0	78,4	75,3	76,6	74,3	78,9	80,3
Коэффициент структурности / The coefficient of structural properties	3,4	3,1	3,4	3,5	4,4	2,0	3,6	3,0	3,3	2,9	3,8	4,1

Примечания: 1 – вспашка (контроль); 2 – культивация; 3 – дискование; 4 – без обработки / Notes: 1 – Plowing (control); 2 – Cultivation; 3 – Disking; 4 – No tillage

Основной результат деятельности земледельцев и растениеводов – это урожайность культур. Данные по влиянию различных приемов основной обработки почвы на урожайность культур приведены в таблице 6.

Сильнейший недостаток влаги совместно с высокими температурами в герба критические периоды развития ячменя в 2021 г. привели к очень низкой урожайности культуры. Растения отличались слаборазвитым стеблем, высотой только 0,6 м. Вспашка способствовала максимальному получению урожая. При отсутствии основной осенней обработки почвы, благодаря повышенным запасам продуктивной влаги, урожайность ячменя менее всего отличалась от контрольного варианта. При этом все отклонения существенно отличались от контроля.

При оптимальном гидротермическом режиме 2022 г. получена высокая урожайность гороха. Культивация, применённая взамен плужной обработки, позволила получить урожайность на уровне контрольного варианта. При дисковании, а также отсутствии основной обработки почвы наблюдали значительное снижение урожайности гороха от контроля – на 11,5 и 25,2 % соответственно.

Несмотря на засушливые условия вегетации (ГТК = 0,6) в 2023 г. ранний посев (2 мая) позволил растениям овса частично использовать весенние паводковые воды и осадки третьей декады мая. Урожайность культуры получена максимальной при использовании вспашки. Существенное снижение урожайности от контроля наблюдали в остальных вариантах опыта, наибольшее (на 13,5 %) – без основной обработки почвы.

Таблица 6 – Влияние приемов основной обработки темно-серой лесной почвы на урожайность культур, ц/га /  
Table 6 – The effect of basic methods of dark gray forest soil tillage on crop yield, c/ha

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	Урожайность / Yield	Отклонение от контроля, ± / Deviation from control, ±
Ячмень (2021 г.) / Barley (2021)		
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	11,4	-
Культивация / Cultivation	10,2	-1,2
Дискование / Disking	9,9	-1,5
Без обработки / No tillage	10,5	-0,9
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,3	
Горох (2022 г.) / Peas (2022)		
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	32,2	-
Культивация / Cultivation	31,3	-0,9
Дискование / Disking	28,5	-3,7
Без обработки / No tillage	24,1	-8,1
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	1,3	
Овёс (2023 г.) / Oats (2023)		
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	22,9	-
Культивация / Cultivation	21,7	-1,2
Дискование / Disking	20,9	-2,0
Без обработки / No tillage	19,8	-3,1
HCP <sub>05</sub> / LSD <sub>05</sub>	0,8	-

Традиционная плужная система основной подготовки почвы за три приведённых года исследований показала наилучший результат по урожайности. Немного ниже, но в пределах ошибки опыта в 2022 году, после использования комбинированного стерневого культиватора KOS-3.0. Здесь необходимо учитывать, что данный агрегат является ресурсосберегающим, проводящим за один проход несколько операций. За годы исследований в варианте без предварительной основной подготовки почвы получили самую низкую урожайность. Остальные варианты, в которых применяли основную обработку почвы, по урожайности выходят за пределы HCP<sub>05</sub>, то есть снижение урожайности напрямую зависит от основной осенней подготовки почвы.

Для полноты картины следует привести продуктивность всего звена севооборота за три года (табл. 7). Согласно полученным данным, осенняя подготовка почвы оказывает существенное влияние на рост продуктивности. Удаление этого элемента из системы обработки почвы приводит к резкому снижению выхода продукции – почти на 20 % от контроля. Как и предполагалось – для получения высоких урожаев вспашка по-прежнему является лидирующим приёмом. Культивация комбиниро-

ванным агрегатом, проводящим сразу несколько операций за один проход, имела незначительное снижение продуктивности в сравнении с контролем за 3 года – на 4,9 %.

Современная рыночная экономика привела к тому, что для сельхозтоваропроизводителя важнее стало получить больше прибыли при меньших затратах, чем высокую урожайность. Вопросы экономики становятся острее по мере удорожания удобрений, пестицидов, ГСМ и техники. Поэтому в текущий момент времени получение большей рентабельности стало важнее увеличения урожаев (табл. 8).

При расчетах использовали цены на продукцию, стоимость ГСМ, пестицидов и удобрений исследуемого года. В 2023 г. в связи с перепроизводством зерна в стране и высокими экспортными пошлинами стоимость зерна овса упала в 2,0–2,5 раза, что сказалось на рентабельности его производства.

Вспашка является трудоёмким и энергозатратным процессом. Несмотря на наиболее высокую урожайность культур именно при классической подготовке почвы рентабельность производства низкая, чем при прочих вариантах, так как производственные затраты здесь самые высокие, и условно чистый доход

самый низкий. Поэтому в 2023 году вспашка привела к отрицательному экономическому результату. Применение комбинированного стерневого культиватора взамен вспашки позволило сократить затраты, тем самым увеличив рентабельность производства зерна. Из всех

видов осенней подготовки почвы за три года исследований этот вариант является наиболее рентабельным. Отказ от основной осенней обработки почвы не позволяет получить высокую урожайность, но за счёт сокращения затрат повышает рентабельность производства.

**Таблица 7 – Продуктивность звена севооборота в зависимости от приемов основной обработки темно-серой лесной почвы, ц/га зерн. ед. /**

**Table 7 – Productivity of the crop rotation link depending on the methods of basic tillage of dark gray forest soil, c/ha of grain units**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	Продуктивность звена севооборота / Productivity of the crop rotation link		Отклонение от контроля, ± / Deviation from control, ±
	за три года / for three years	среднегодовая / average annual rate	
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	61,6	20,5	-
Культивация / Cultivation	58,6	19,5	- 3,0
Дискование / Disking	54,8	18,3	- 6,8
Без обработки / No tillage	49,4	16,5	- 12,2

**Таблица 8 – Экономические показатели при возделывании культур в зависимости от приемов основной обработки темно-серой лесной почвы /**

**Table 8 – Economic indicators in the cultivation of crops, depending on the methods of basic tillage of dark gray forest soil**

Прием основной обработки почвы / Basic tillage method	Стоимость продукции / The cost of products	Производственные затраты / Production costs	Условно чистый доход / Conditional net income	Рентабель- ность, % / Profitability, %
	тыс. руб. на 1 га / thousand rubles per 1 ha			
Ячмень (2021 г.) / Barley (2021)				
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	18,3	16,9	1,4	8,3
Культивация / Cultivation	16,3	13,8	2,5	18,1
Дискование / Disking	15,9	13,6	2,3	16,9
Без обработки / No tillage	16,8	12,0	4,8	40,0
Горох (2022 г.) / Peas (2022)				
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	58,0	33,4	24,6	73,7
Культивация / Cultivation	56,3	28,6	27,7	96,9
Дискование / Disking	51,3	26,8	24,5	91,4
Без обработки / No tillage	38,6	20,1	18,5	92,0
Овёс (2023 г.) / Oats (2023)				
Вспашка (контроль) / Plowing (control)	18,3	19,1	-0,8	-4,2
Культивация / Cultivation	17,4	15,9	1,5	9,4
Дискование / Disking	16,7	15,3	1,4	9,2
Без обработки / No tillage	15,8	14,4	1,4	9,7

**Заключение.** Проведенные исследования показали однозначную зависимость агрофизического состояния почвы, урожайности культур, продуктивности звена севооборота, а также экономической эффективности производства зерна от способов (отвальный, безотвальный) и

приемов (вспашка, культивация, дискование) основной обработки темно-серой лесной почвы.

Отмечено, что традиционная вспашка позволяет в начале вегетационного периода снизить плотность почвы и увеличить её пористость, что во влажный год способствует

дополнительному накоплению продуктивной влаги. Так, средняя плотность в слое почвы 0–30 см по вспашке составила 1,05 г/см<sup>3</sup>, по прочим приемам основной обработки – 1,12–1,16 г/см<sup>3</sup>. Отвальная вспашка привела к ежегодному повышению доли пылевой фракции в структуре почвы (от 3,9 – в 2021 г. до 6,9 – в 2023 г.), что может вызвать усиление эрозионных и дефляционных процессов. Среднегодовая продуктивность звена севооборота при данном способе осенней подготовки почвы самая высокая из всех вариантов – 20,5 ц зерн. ед. с 1 га. Вспашка является самым затратным и экономически невыгодным способом основной подготовки почвы. При низкой стоимости продукции рентабельность ее производства по вспашке становится отрицательной (–4,2 % в 2023 г.).

После культивации комбинированным стерневым агрегатом KOS-3.0 среднегодовая продуктивность звена севооборота составила несколько меньше, чем при вспашке –

19,5 ц зерн. ед. с 1 га. При этом приеме основной обработки значения плотности и оструктуренности почвы были близки к показателям по вспашке, а рентабельность возделывания культур значительно выше – 9,4–18,1 % по зерновым в засушливые годы и 96,9 % по гороху при оптимальных гидротермических условиях.

При дисковании не выявлено положительных моментов в сравнении с другими видами осенней обработки почвы. Следует отметить, что при отказе от осенней подготовки почвы получена наименьшая среднегодовая продуктивность звена севооборота – 16,5 ц зерн. ед. с 1 га, однако экономически этот вариант наиболее рентабелен за счёт существенного сокращения затрат на основную обработку – до 92 %.

Таким образом, в системе обработки темно-серой лесной почвы под посев яровых зерновых и зернобобовых культур рекомендуется основную осеннюю обработку проводить безотвальным способом комбинированным стерневым агрегатом KOS-3.0 на глубину 15–17 см.

#### *Список литературы*

1. Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., et al. Solutions for a cultivated planet. *Nature*. 2011;478:337–342. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10452>
2. Волков А. И., Прохорова Л. Н., Кириллов Н. А. Экологическая устойчивость агроценозов при внедрении no-till технологии. *Экологический вестник Северного Кавказа*. 2020;16(4):45–48. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44209138> EDN: ZTKGJD
3. Кирюшин В. И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия. *Почвоведение*. 2019;(9):1130–1139. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062> EDN: MUWEQK
4. Жук А. Ф., Халилов М. Б., Абдулнатилов М. Г. Технологии, приемы и технические средства для ресурсосберегающей обработки почвы. *Проблемы развития АПК региона*. 2020;(4):52–58. DOI: <https://doi.org/10.15217/issn2079-0996.2020.3.52> EDN: FMGYFB
5. 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
6. Дубовик Е. В., Дубовик Д. В. Изменение гумусного состояния чернозема типичного при различных способах обработки почвы. *Аграрная наука*. 2024;(1):92–96. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-92-96> EDN: XZPVNO
7. Холодов В. А., Белобров В. П., Ярославцева Н. В., Яшин М. А., Юдин С. А., Ермолаев Н. Р., Дридигер В. К., Ильин Б. С., Лазарев В. И. Влияние технологии прямого посева на распределение органического углерода и азота во фракциях агрегатов черноземов типичных, обыкновенных и южных. *Почвоведение*. 2021;(2):240–246. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020076> EDN: BIJGDW
8. Белоусов А. А., Белоусова Е. Н. Динамика содержания органического вещества черноземов в условиях минимизации обработки в Красноярской лесостепи. *Агрохимия*. 2020;(3):24–30. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120030059> EDN: AULHKU
9. Васюков П. П., Чуварлеева Г. В., Лесовая Г. М., Мнатсакян А. А. Влияние традиционной и минимальных систем обработки почвы на изменения почвенного плодородия. *Таврический вестник аграрной науки*. 2016;(3):50–59. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27698341> EDN: XIDEUB
10. Пакуль А. Л., Лапшинов Н. А., Божанова Г. В., Пакуль В. Н. Влияние различных систем обработки почвы на агрофизические свойства чернозема выщелоченного. *Сибирский вестник сельскохозяйственной науки*. 2019;49(3):16–23. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-3-2> EDN: WIIRWL
11. Дубовик Д. В., Дубовик Е. В., Морозов А. Н., Шумаков А. В. Влияние способов основной обработки на агрофизические свойства почвы, урожайность и качество сои. *Земледелие*. 2022;(2):43–48. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-2-43-46> EDN: SRVOOV
12. Чернов О. С. Влияние систем обработки на агрофизические показатели серой лесной почвы и урожайность культур. *Владимирский земледелец*. 2020;(1(91)):12–17. DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10102> EDN: QRUTBB
13. Власова О. И., Есаулко А. Н., Шабалдас О. Г., Дрепа Е. Б. Развитие системы обработки почвы на Ставрополье. *Земледелие*. 2022;(8):26–30. DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-26-30> EDN: JYSWDI



14. Митрофанов Д. В. Влияние погодных условий, основной обработки почвы, продуктивной влаги и питательных веществ на урожайность зерновых культур. Аграрный вестник Урала. 2023;23(8):12–22.

DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-08-12-23> EDN: BRIUPG

15. Лазарев В. И., Минченко Ж. Н. Влияние элементов технологий возделывания на влагообеспеченность посевов ярового ячменя в условиях Курской области. Земледелие. 2023;(2):32–36.

DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-2-32-36> EDN: JOVIVA

### References

1. Foley J. A., Ramankutty N., Brauman K. A., Cassidy E. S., Gerber J. S., Johnston M., et al. Solutions for a cultivated planet. Nature. 2011;478:337–342. DOI: <https://doi.org/10.1038/nature10452>

2. Volkov A. I., Prokhorova L. N., Kirillov N. A. Ecological sustainability of agroecosystems when implementing no-till technology. *Ekologicheskiy vestnik Severnogo Kavkaza* = The North Caucasus Ecological Herald. 2020;16(4):45–48. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44209138>

3. Kiryushin V. I. The management of soil fertility and productivity of agroecosystems in adaptive-landscape farming systems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2019;(9):1130–1139. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0032180X19070062>

4. Zhuk A. F., Khalilov M. B., Abdulnapirov M. G. Technologies, methods and technical means for resource-saving tillage. *Problemy razvitiya APK regiona*. 2020;(4):52–58. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15217/issn2079-0996.2020.3.52>

5. 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>

6. Dubovik E. V., Dubovik D. V. Change in the humus state of typical chernozem with various methods of tillage. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2024;(1):92–96. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-378-1-92-96>

7. Kholodov V. A., Belobrov V. P., Yaroslavtseva N. V., Yashin M. A., Yudin S. A., Ermolaev N. R., Dridiger V. K., Ilyin B. S., Lazarev V. I. Influence of no-till system on the distribution of organic carbon and nitrogen by aggregate size fractions in protocalcic, endocalcic, and pantocalcic chernozems. *Pochvovedenie* = Eurasian Soil Science. 2021;(2):240–246. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0032180X21020076>

8. Belousov A. A., Belousova E. N. Dynamics of the content of organic matter of chernozems in conditions of minimization of processing in Krasnoyarsk forest-steppe. *Agrokhimiya*. 2020;(3):24–30. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120030059>

9. Vasyukov P. P., Chuvarleeva G. V., Lesovaya G. M., Mnatsakanyan A. A. Effect of traditional and minimum tillage system on changing the soil fertility. *Tavrisheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2016;(3):50–59. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=27698341>

10. Pakul A. L., Lapshinov N. A., Bozhanova G. V., Pakul V. N. Influence of various systems of soil tillage on agrophysical properties of leached chernozem. *Sibirskiy vestnik sel'skokhozyaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2019;49(3):16–23. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-3-2>

11. Dubovik D. V., Dubovik E. V., Morozov A. N., Shumakov A. V. Influence of tillage methods on soil agrophysical properties, soybean yield and quality. *Zemledelie*. 2022;(2):43–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-2-43-46>

12. Chernov O. S. Impact of tillage methods on agrophysical properties of grey forest soil and crop yield. *Vladimirskiy zemledelets* = Vladimir agricolist. 2020;(1(91)):12–17. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10102>

13. Vlasova O. I., Esaulko A. N., Shabaldas O. G., Drepa E. B. Development of the tillage system in the Stavropol territory. *Zemledelie*. 2022;(8):26–30. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2022-8-26-30>

14. Mitrofanov D. V. Influence of weather conditions, basic tillage, productive moisture and nutrients on the yield of grain crops. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2023;23(8):12–22. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2023-237-08-12-23>

15. Lazarev V. I., Minchenko Zh. N. The influence of cultivation technologies elements on the moisture supply of spring barley crops under the conditions of the Kursk region. *Zemledelie*. 2023;(2):32–36. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.24412/0044-3913-2023-2-32-36>

### 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](mailto:chniish@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: [tymondem@mail.ru](mailto: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](mailto:chniish@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

### Information about the authors

✉ Dmitry A. Dementyev, 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, Tsvilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: [chniish@mail.ru](mailto:chniish@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8571-8059>, e-mail: [tymondem@mail.ru](mailto: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, Tsvilsky district, Opytny settlement, Chuvash Republic, Russian Federation, 429911, e-mail: [chniish@mail.ru](mailto:chniish@mail.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0834-1681>

✉ – Для контактов / Corresponding author

## Динамика продуктивной влаги в дерново-подзолистой почве при возделывании ярового ячменя

© 2024. А. К. Свечников ✉, С. А. Замятин

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

В статье представлены результаты проведённого в 1996–2021 гг. в двух закладках многолетнего двухфакторного стационарного опыта в условиях Республики Марий Эл. Цель исследований – изучение динамики продуктивной влаги в слое дерново-подзолистой почвы 0–20 см в зависимости от предшественников ярового ячменя в шестипольных севооборотах. Предшественники – картофель с внесением 60 т/га навоза, яровые (овёс, яровая пшеница) и озимые зерновые (озимая пшеница и озимая рожь). При исследовании проведён корреляционно-регрессионный анализ данных между соответствующими гидротермическими коэффициентами Селянинова (ГТК) и запасами доступной влаги в почве в посевах ячменя в фазы «выход в трубку» и «восковая спелость зерна» после различных предшественников. В результате выяснено, что при размещении ячменя после овса повышение ГТК на единицу увеличивало к уборке ячменя количество доступной растениям почвенной влаги на  $17,45 \pm 7,95$  мм. Мёртвые запасы влаги в этом случае формировались при ГТК менее 0,79. Данные корреляционно-регрессионного анализа по другим предшественникам были менее выраженными, но сохраняли отмеченную тенденцию. Установлено, что погодные условия 1996–2021 гг. в Республике Марий Эл к моменту посева ярового ячменя в основном обеспечивали «удовлетворительное» (20–30 мм) количество продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см. Самым лучшим предшественником в опыте определен картофель, после которого в течение вегетации ячменя запасы доступной влаги в почве меньше всего определялись ГТК – коэффициент детерминации ( $R^2$ ) составил  $0,306 \pm 0,096$ , количество продуктивной влаги снизилось в среднем на 34,6 %. После зерновых культур, особенно овса, ГТК влиял на изменчивость показателя «количество продуктивной влаги» к уборке урожая значительно ( $R^2$  – до  $0,802 \pm 0,028$ ), уменьшая его от момента посева в два раза (до  $15,1 \pm 5,1$  мм).

**Ключевые слова:** предшественники, овёс, пшеница, картофель, ГТК, регрессия, коэффициент детерминации

**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:** Свечников А. К., Замятин С. А. Динамика продуктивной влаги в дерново-подзолистой почве при возделывании ярового ячменя. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1112–1123.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1112-1123>

Поступила: 03.04.2024

Принята к публикации: 06.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Productive moisture dynamics in sod-podzolic soil under spring barley cultivation

© 2024. Alexandr K. Svechnikov ✉, Sergey A. Zamyatin

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

The article presents the results of a long-term two-factor stationary experiment in the conditions of the Republic of Mari El, which was conducted in 1996–2021 in two plots. The aim of the research was to study the dynamics of productive moisture in the 0–20 cm layer of sod-podzolic soil depending on the predecessors of spring barley in six-field crop rotations. The predecessors were potatoes with application of 60 t/ha of manure, spring grain crops (oats, spring wheat) and winter cereals (winter wheat and winter rye). In the course of study a correlation and regression data analysis was carried out between the corresponding hydrothermal coefficient of Selyaninov (HTC) and the reserves of available soil water in barley sowings during “shooting” and “wax ripeness” phases after various predecessors. As a result, it was found out that sowing barley after oats led to one unit increase of HTC, that raised the amount of soil water available to plants by  $17.45 \pm 7.95$  mm by the time of barley harvesting. Dead moisture reserves were possible at HTC less than 0.79 in this case. Correlation and regression analysis data for other predecessors were less evident, but retained the noted trend. It was established that the weather conditions of 1996–2021 in the Republic of Mari El to the time of spring barley sowing mainly provided “satisfactory” (20–30 mm) amount of productive soil moisture in the 0–20 cm soil layer. Potatoes were the best predecessors in the experiment. After that during the vegetation of barley the reserves of available water in the soil were least determined by the HTC –  $R$ -squared ( $R^2$ ) was  $0.306 \pm 0.096$ , the amount of productive moisture decreased by 34.6 % on average. After cereal crops, mainly oats, HTC affected significantly the variability of the “amount of productive moisture” indicator by the time of harvesting ( $R^2$  up to  $0.802 \pm 0.028$ ) reducing the yield twice from the moment of sowing (up to  $15.1 \pm 5.1$  mm).

**Keywords:** predecessors, oat, wheat, potato, HTC, regression,  $R$ -squared

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky (theme no. FNWE-2022-0005).

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

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

**For citation:** Svechnikov A. K., Zamyatin S. A. Productive moisture dynamics in sod-podzolic soil under spring barley cultivation. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1112–1123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1112-1123>

Received: 03.04.2024

Accepted for publication: 06.12.2024 Published online: 25.12.2024

Ячмень (*Hordeum vulgare* L.) яровой формы в Нечерноземье – одна из ведущих яровых зерновых культур [1, 2]. Обеспеченность почвы влагой и питательными веществами является основным лимитирующим фактором получения стабильного урожая зерна хорошего качества [3, 4]. Известно, что доля влияния погодных факторов в формировании урожайности культуры достигает 81 % [5, 6, 7]. Польскими исследователями установлено, что добавление эффекта экстремальных погодных явлений к регрессионным моделям объясняло свыше 44 % изменчивости урожайности ячменя [8].

Исследователи со всего мира [9, 10], включая европейских [11, 12] и африканских [13], утверждают, что засуха, как одно из наиболее пагубных погодных явлений, по прогнозам будет возникать чаще и усилится к концу XXI века. Это приведёт к снижению в почве запасов продуктивной влаги, что повлечёт за собой уменьшение урожайности сельскохозяйственных культур [14], синтеза и отложения основных запасующих веществ в зерне [15, 16]. Повышению урожайности современных сортов ярового ячменя в подобных условиях может способствовать рациональный уровень внесения минеральных удобрений [17]. Так, в степной зоне Южного Урала в слое почвы 0–30 см при возделывании ячменя коэффициент корреляции между продуктивной влагой и сбором кормовых единиц составлял 0,530 [18]. Однако систематическая переувлажнённость почвы может вызывать загнивание семян и препятствовать росту биомассы растений, создавая неблагоприятные условия для корней [19]. Согласно некоторым исследованиям, в более влажные сезоны увеличиваются оптимальные нормы внесения азота [20], что способствует развитию корневых гнилей [21].

Кроме погодных условий, на величину запаса продуктивной влаги при неорошаемом земледелии также могут повлиять система внесения удобрений, предшественники, виды обработок почвы и ее плотность [22]. Так,

в Центрально-Черноземном регионе в 9-польном зернопаропропашном севообороте внесение минеральных удобрений (относительно неудобренного варианта) снижало запас продуктивной влаги корнеобитаемого слоя почвы под ячменём в среднем на 20,4 %, при существенном повышении коэффициента водопотребления культурой – в среднем на 25,6 % [23].

Даже при биологически схожих предшественниках может сильно различаться запас продуктивной влаги. Например, в слое почвы 0–30 см в условиях степи Южного Урала данный показатель весь период вегетации ярового ячменя (предшественник – яровой ячмень, монокультура) был ниже, чем после яровой пшеницы в 2,0–2,3 раза, гороха – в 2,4–3,2 раза [18].

Также замечено, что с повышением плотности почвы можно получить более высокую урожайность ярового ячменя благодаря лучшему сохранению влаги [24].

Сорта ярового ячменя, возделываемые на неорошаемых землях, как и многих зерновых культур, при дефиците влаги особенно страдают на репродуктивных стадиях и стадиях налива зерна [25]. Так, при возделывании ярового ячменя на черноземе обыкновенном (эрозионно опасный склон) от фазы выхода в трубку до молочно-восковой спелости растения расходуют в среднем около 40 % суммарной влаги [26].

Критическим периодом ячменя по теплообеспеченности и недостатку влаги являются фазы «кущение» и «трубкование» [7, 27]. В условиях Московской области в эти периоды коэффициент корреляции между показателем влагообеспеченности и урожайностью зерна составлял около 0,522 [7].

Исследования в условиях Калужской области показали, что дефицит осадков в период «кущение–колошение», относительно повышенного увлажнения, снижал урожайность зерна ярового ячменя сорта Владимир на 40,0–54,8 %. Кроме того, увеличивалось содержание белка в зерне на 1,4–1,7 % [28].

**Цель исследований** – изучить динамику продуктивной влаги в пахотном слое дерново-подзолистой почвы в течение вегетации ярового ячменя с учетом различных предшественников в шестипольных севооборотах.

**Научная новизна** – выявление зависимостей количества доступной влаги в слое дерново-подзолистой почвы 0–20 см от гидротермических условий вегетации ярового ячменя и предшественника культуры в различных севооборотах.

**Материал и методы.** На опытном поле Марийского НИИСХ – филиала ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока в 1996–2021 гг. был проведён многолетний двухфакторный стационарный опыт в двух закладках (табл. 1). Согласно схеме опыта, яровой ячмень возделывали в четырёх севооборотах. Структура севооборотов:

1. Зернотравяной – овёс + клевер; клевер 1-го года пользования (г. п.) или вика + овёс; яровая пшеница; вика + овёс; озимая или яровая пшеница; ячмень.

*Таблица 1 – Схема опыта /*  
*Table 1 – Scheme of the experiment*

Фактор А – севооборот / Factor A – crop rotation	Предшественник ярового ячменя / Predecessor of spring barley	Годы возделывания ярового ячменя / Spring barley cultivation (years)
1. Зернотравяной / Cereal-grass	Озимая пшеница / Winter wheat	2001, 2002, 2007, 2009
	Яровая пшеница / Spring wheat	2013, 2015, 2019, 2021
2. I плодосменный / I fruit-changing	Озимая рожь / Winter rye	2010, 2012, 2016, 2018
	Озимая пшеница / Winter wheat	1998, 2000, 2006, 2004
3. II плодосменный / II fruit-changing	Картофель с внесением навоза (80 т/га) / Potatoes with manure application (80 t/ha)	1999, 2001, 2005, 2007, 2011, 2013, 2017, 2019
4. III плодосменный / III fruit-changing	Овёс / Oat	1996, 1998, 2002, 2004, 2008, 2010, 2014, 2016
Фактор В – минеральные удобрения / Factor B – mineral fertilizers		1. N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> 2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>

Все применяемые агротехнические мероприятия в опыте проводили в соответствии с зональными рекомендациями.

Так, для яровых зерновых и зернобобовых культур (после однолетних) осеннюю обработку почвы проводили лущением тяжёлой бороной на глубину 6–8 см и отвальной вспашкой на 20–22 см, после картофеля ограничивались лущением тяжёлой бороной на 10–12 см, после многолетнего использования клевера – дисковой бороной на 6–8 см и отвальной вспашкой на 20–22 см. Весенняя обработка заключалась в бороновании на 3–5 см, культивации на 6–8 см и прикатывании. Под озимые все названные обработки проводили в осенний период (после

2. I плодосменный – вика + овёс; озимая рожь или пшеница; ячмень; картофель; вика + овёс; яровая пшеница.

3. II плодосменный – вика + овёс или горох + ячмень; яровая пшеница; картофель; ячмень + клевер; клевер 1-го г. п.; озимая пшеница или рожь).

4. III плодосменный – ячмень + клевер; клевер 1-го г. п. или вика + овёс + клевер; клевер 1-го или 2-го г. п.; озимая пшеница или рожь; картофель; овёс).

Таким образом, яровой ячмень возделывали по пяти предшественникам. Культуру не высевали только в 1997, 2003 и 2020 гг. эксперимента. Озимая рожь и яровая пшеница в качестве предшественников составляют слишком малую выборку, поскольку возделывались всего четыре раза вместо озимой пшеницы и овса соответственно. Поэтому в результатах исследований они включены в объединённую категорию – соответственно озимых и яровых зерновых культур.

многолетних трав почву культивировали дважды: на 6–8 и 5–6 см). Под посадки картофеля осенью проводили лущение тяжёлой дисковой бороной на 6–8 см и зяблевую вспашку – на 20–22 см, весной – боронование на 3–5 см, после внесения навоза проводили вспашку на 16–18 см, нарезку гребней. За вегетационный период картофель окучивали трижды.

Согласно схеме опыта, минеральные удобрения вносили перед посевом культур поделаячно в виде аммиачной селитры, двойного суперфосфата и хлористого калия. Под многолетние бобовые травы азотные удобрения не применяли.



Повторность вариантов трёхкратная. Делянки размещали систематически расщеплённым методом. Общая площадь делянок первого порядка 330 м<sup>2</sup>, второго – 165 м<sup>2</sup>.

Почва опытного участка – дерново-подзолистая среднесуглинистая. Перед началом исследований (1998 г.) пахотный слой (0–20 см) характеризовался следующими агрохимическими показателями: объёмная масса – 1,19 г/см<sup>3</sup> по методу М. А. Качинского<sup>1</sup>; влажность устойчивого завядания – 7,2 % (ГОСТ 28268-89<sup>2</sup>); содержание гумуса по Тюрину – 1,72 % (ГОСТ 26213-91<sup>3</sup>); рН солевой вытяжки – 5,67 (ГОСТ 26483-85<sup>4</sup>); гидролитическая кислотность – 14,1 мг·экв/100 г почвы; сумма поглощенных оснований – 89,0 мг·экв/100 г почвы (ГОСТ 27821-88<sup>5</sup>); содержание подвижных форм Р<sub>2</sub>О<sub>5</sub> – 270 мг/кг почвы и К<sub>2</sub>О по Кирсанову – 130 мг/кг почвы (ГОСТ 26207-84<sup>6</sup>).

Запасы продуктивной влаги рассчитывали по формуле:

$$W = 0,1 \cdot (W_{\text{ф}} - W_3) \cdot \delta \cdot h, \quad (1)$$

где  $W$  – запасы продуктивной влаги, мм;

$W_{\text{ф}}$  – фактическая полевая влажность почвы, %;

$W_3$  – влажность устойчивого завядания, %;

$\delta$  – объёмная масса почвы, г/см<sup>3</sup>;

$h$  – толщина слоя почвы, см (20 см).

Для характеристики гидротермических условий вегетации использовали значения гидротермического коэффициента, рассчитанного по методике Селянинова<sup>7</sup>. Исследования и статистический анализ данных проводили в соответствии с методикой полевого опыта<sup>8</sup> с помощью программы Microsoft Office Excel 2013. Значения стандартной ошибки средней, доверительного интервала, коэффициента детерминации и кри-

терия существенности коэффициента регрессии приведены при 5%-ном уровне значимости.

**Результаты и их обсуждение.** Количеству запасов продуктивной влаги при его содержании в слое почвы 0–20 см свыше 40 мм принято давать оценку «хорошо», при 20–40 мм – «удовлетворительно», при менее 20 мм – «неудовлетворительно»<sup>9</sup>. В опыте существенных различий по влиянию применяемых удобрений на запасы продуктивной влаги не прослеживалось. Согласно полученным данным, средние величины рассматриваемого показателя перед посевом ярового ячменя из года в год в основном находились в пределах «удовлетворительной» зоны (табл. 2). В случае выращивания культуры после овса подобные условия увлажнения (21,3±3,1 мм) в предпосевной период достигали «неудовлетворительных» значений (каждый второй год). Некоторые исследователи считают, что благоприятный запас почвенной влаги в слое 0–20 см во время прорастания семян составляет 30–40 мм [4]. В наших исследованиях данные значения перед посевом достигались лишь каждый третий год (в основном при размещении ячменя после озимой пшеницы и картофеля).

Неустойчивое влияние предшественника на обеспечение доступной почвенной влагой всходов ячменя подтверждают также значения коэффициента вариации (свыше 33 %), свидетельствующие о неоднородности данных по накоплению продуктивной влаги. Высокая изменчивость показателя может сигнализировать о необходимости введения мероприятий (например, по снегозадержанию) для создания более стабильного уровня влажности почвенного пласта перед посевом.

<sup>1</sup>Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв: учебное пособие по специальности «Агрохимия и почвоведение». М.: Агропромиздат, 1986. Вып. 3-е изд., перераб. и доп. 415 с. URL: <https://reallib.org/reader?file=478697>

<sup>2</sup>ГОСТ 28268-89. Почвы. Методы определения влажности, максимальной гигроскопической влажности и влажности устойчивого завядания растений. М.: Стандартинформ, 1990. 8 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/798/4294826517.pdf>

<sup>3</sup>ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества (по Тюрину). М.: Стандартинформ, 1993. 8 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/f09/4294828267.pdf>

<sup>4</sup>ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение её рН по методу ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1985. 6 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/738/4294827946.pdf>

<sup>5</sup>ГОСТ 27821-88. Почвы. Определение суммы поглощенных оснований по методу Каппена. М.: Издательство стандартов, 1990. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/3a6/4294826916.pdf>

<sup>6</sup>ГОСТ 26207-91. Определение подвижных форм фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. М.: Издательство стандартов, 1993. 7 с. URL: <https://ohranatruda.ru/upload/iblock/c43/4294828273.pdf>

<sup>7</sup>Селянинов Г. Т. Методика сельскохозяйственной характеристики климата. В кн.: Мировой агроклиматический справочник. Л.-М.: Печатня, 1937. 77 с.

<sup>8</sup>Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. М.: Агропромиздат, 1985. Вып. 5-е изд., доп. и перераб. 351 с.

<sup>9</sup>Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Указ. соч.



Таблица 2 – Динамика продуктивной влаги в пахотном слое дерново-подзолистой почвы (0–20 см) в течение вегетации ярового ячменя после разных предшественников (1996–2021 гг.) /  
 Table 2 – Dynamics of productive moisture in the arable layer of sod-podzolic soil (0–20 cm) during the growing season of spring barley after different predecessors (1996–2021)

Фаза развития ячменя / Barley growth stage	Показатель / Parameter	Предшественник / Predecessors				
		картофель / potato	овёс / oat	озимая пшеница / winter wheat	озимые зерновые / winter cereals	яровые зерновые / spring cereals
Перед посевом / Before sowing	$\bar{X}$ , мм / mm	26,3±1,5	21,3±3,1	28,8±2,4	26,6±2,1	23,9±2,3
	CV, %	15,4	37,9	21,9	26,5	32,4
Выход в трубку / Shooting	$\bar{X}$ , мм / mm	18,0±3,2	13,2±2,0	16,6±1,5	16,1±1,7	14,1±2,0
	CV, %	49,2	41,7	25,2	35,8	47,9
Восковая спелость / Wax ripeness	$\bar{X}$ , мм / mm	17,2±2,3	10,3±3,2	13,7±2,7	12,5±2,9	11,5±2,3
	CV, %	37,0	83,7	54,6	78,5	67,5

Примечания:  $\bar{X}$  – среднее количество продуктивной влаги в почве со стандартной ошибкой ( $\pm$ ) при 5%-ном уровне значимости; CV – коэффициент вариации /

Notes:  $\bar{X}$  – average amount of productive soil moisture with standard error of  $\pm$  at 5% significance level; CV – variation coefficient

Картофель – пропашная культура, поэтому несмотря на внесение навоза хорошо сохраняла доступную влагу в почве (26,3±1,5 мм) к посеву ярового ячменя при средней (от 10 до 20 %) степени изменчивости показателя. Незначительно больше, относительно картофеля, количество запасов продуктивной влаги наблюдали после озимой пшеницы (28,8±2,4 мм), главным образом, благодаря обработке участка по системе полупара после уборки урожая. Поэтому изучаемый показатель после озимых зерновых в целом (26,6±2,1 мм) был выше на 2,7 мм, чем после яровых (23,9±2,3 мм), но статистически доказано это увеличение лишь при уровне значимости свыше 10,8 %.

К моменту выхода в трубку у ярового ячменя весенние накопленные запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы теряются и в дальнейшем формируются лишь последующими атмосферными осадками. Поэтому количество доступной для растений почвенной влаги снизилось на 8,1–12,2 мм (31,6–42,3 %) в зависимости от предшественников. К уборке урожая показатель снизился на 0,8–3,6 мм (4,4–22,4 %). За весь вегетационный период ячменя снижение запасов продуктивной влаги составило 9,1–15,1 мм (34,6–53,0 %). Таким образом, основные потери влаги пришлось ближе к самому критическому периоду роста и развития ярового ячменя – фазе «выход в трубку». В последующий период – до восковой спелости зерна – запасы почвенной влаги в пахотном слое

снижались с меньшей интенсивностью, однако для растений ячменя в фазу созревания «неудовлетворительный» уровень влагообеспеченности был не критичным и вполне допустимым.

В посевах ячменя, размещенного после картофеля, было зафиксировано наибольшее количество продуктивной влаги как в середине (18,0±3,2 мм), так и конце (17,2±2,3 мм) вегетации, возможно, благодаря лучшему её накоплению в нижних слоях почвы. При данном предшественнике снижение рассматриваемого показателя составило 8,3±4,7 мм (31,6 %) к фазе «выход в трубку» и почти такое же (9,1±3,8 мм, или 34,6 %) к фазе «восковая спелость». Тем не менее, существенное преимущество картофеля по сравнению с озимой пшеницей по сохранению продуктивной влаги в посевах ячменя в фазу «выход в трубку» отмечали лишь при значимости 55,1 %, в фазу «восковая спелость» – 16,2 %. Наиболее иссушенной почва была после овса: в середине вегетации после данного предшественника запас продуктивной влаги составил 13,2±2,0 мм, в конце – 10,3±3,2 мм, что на 26,7 и 40,1 % ниже, чем после картофеля. Потери влаги за летний сезон в данном случае были двукратными и составили 11,0±6,3 мм. Различия по показателю между озимыми и яровыми зерновыми оставались несущественными.

Количество продуктивной влаги в середине вегетации ярового ячменя в пахотном слое почвы продемонстрировало наибольшую связь со сбором кормовых единиц в зерне

(рис. 1). Однако это влияние было умеренное ( $R^2 = 0,406 \pm 0,038$ ) для предельных значений продуктивной влаги – от 4,2 до 33,7 мм

(разница 29,5 мм). Согласно уравнению, заметную связь можно спрогнозировать лишь при диапазоне доступной влаги 34,7 мм.

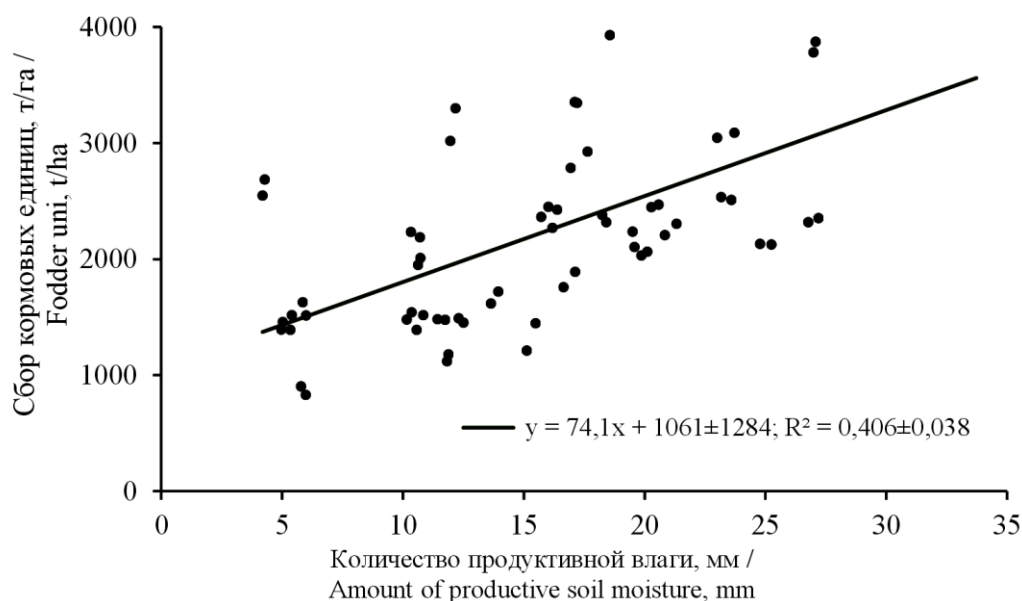


Рис. 1. Влияние количества продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см в середине вегетации ярового ячменя на сбор кормовых единиц (1996–2021 гг.) /

Fig. 1. Effect of productive moisture in the 0–20 cm soil layer in the middle of spring barley vegetation on fodder units harvesting (1996–2021)

В течение вегетации ярового ячменя влияние различных факторов на содержание продуктивной влаги усиливалось, что отражалось в повышении коэффициента вариации при его возделывании почти по всем предшественникам (кроме картофеля), особенно по овсу ( $CV = 83,7\%$  в фазу восковой спелости ячменя).

Влияние предшественников на запасы доступной влаги хорошо продемонстрировал коэффициент детерминации  $R^2$  линейного уравнения между количеством продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см и гидротермическим коэффициентом Селянинова (табл. 3). Также следует отметить, что отрицательного направления регрессии в эксперименте не наблюдали. Более того, самые низкие значения ГТК (в среднем 0,895) за период от посева семян до выхода в трубку ячменя пришлось при его возделывании после яровых зерновых, что лучше может объяснить наименьшее количество продуктивной влаги в почве при данных предшественниках, чем сами предшественники. Однако картофель обеспечил самые высокие запасы почвенной воды со средними по опыту ГТК – 1,070, а озимая пшеница – лишь средние запасы с наибольшим ГТК – 1,290.

К середине вегетации ярового ячменя наибольшая взаимосвязь между ГТК и коли-

чеством продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см прослеживалась при возделывании после овса. Коэффициент детерминации в этом случае составил  $0,613 \pm 0,054$ . Согласно шкале Чеддока, эта связь относится к значимой на 5%-ном уровне. При этом значения ГТК в наблюдениях были весьма различными: от 0,4 (очень засушливые условия) до 2,1 (избыточно увлажнённые), что можно увидеть на графике (рис. 2). Это демонстрировало и самый высокий коэффициент вариации (59,5 %) в данный период вегетации. Поскольку была выявлена значимая связь ГТК с запасами доступной влаги, вычислено и приведено на рисунке уравнение линейной регрессии ( $y = 8,50x + 5,56 \pm 7,08$ ), согласно которому при полном отсутствии осадков с момента посева (после овса) до трубкования ячменя в пахотном слое почвы может сохраниться небольшая часть весенних запасов доступной воды ( $5,56 \pm 7,08$  мм). Можно утверждать, что увеличение ГТК с 0,4 до 2,1 повышает количество продуктивной влаги с  $8,96 \pm 7,08$  мм до  $23,41 \pm 7,08$  мм.

Только после картофеля ГТК характеризовался значительной изменчивостью по годам ( $CV = 32,4\%$ ), в то время как после остальных культур-предшественников показатель был неоднородным ( $CV \geq 40,7\%$ ). Картофель в качестве

предшественника, независимо от гидротермических условий ( $R^2 = 0,034 \pm 0,134$ ), способствовал сохранению влаги в слое почвы 0–20 см до фазы «выход в трубку» злака. После озимой пшеницы прослеживалась умеренная связь между изучаемыми показателями ( $R^2 = 0,320 \pm 0,094$ ), что недостаточно для выявления регрессии. При сравнении озимых и яровых злаковых

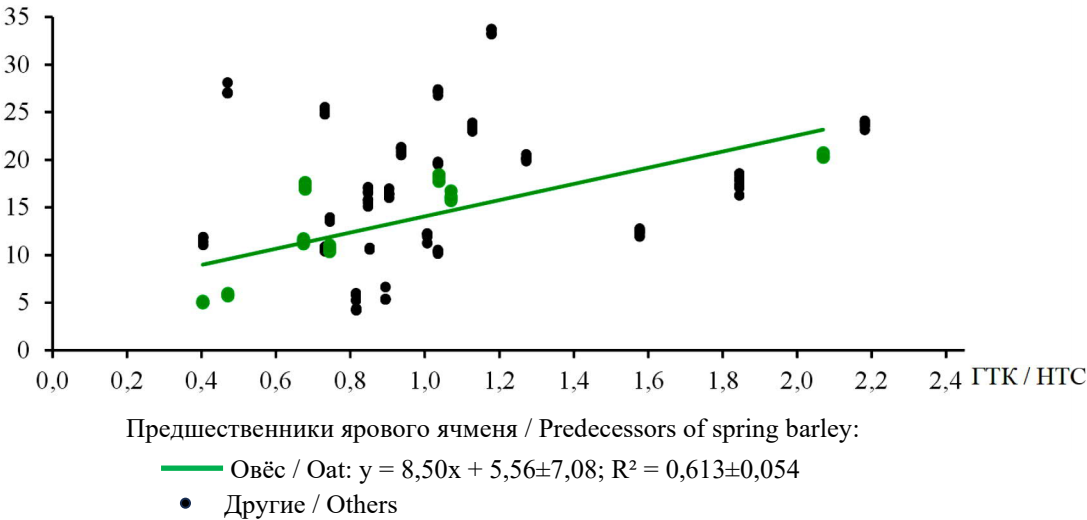
культур сила связи становилась ожидаемо выше после второго предшественника ( $R^2 = 0,349 \pm 0,057$ ), нежели первого ( $R^2 = 0,064 \pm 0,082$ ). Таким образом, озимые зерновые предшественники уступали картофелю по влиянию на сохранение продуктивной влаги в верхнем слое почвы до середины вегетации ячменя в различных погодных условиях.

**Таблица 3 – Взаимосвязи между гидротермическим коэффициентом и количеством продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см при разных предшественниках в начале и конце вегетации ярового ячменя (1996–2021 гг.) /**  
**Table 3 – Relationships between the hydrothermal coefficient and the amount of productive moisture in the 0–20 cm soil layer under different predecessors at the beginning and at the end of spring barley vegetation (1996–2021)**

Фаза развития / Growth stage	Показатель / Index	Предшественник / Predecessor				
		картофель / potato	овёс / oat	озимая пшеница / winter wheat	озимые зерновые / winter cereals	яровые зерновые / spring cereals
Выход в трубку / Shooting	$R^2$	0,034±0,134	0,613±0,054	0,320±0,094	0,064±0,082	0,349±0,057
	$\bar{X}_{ГТК} / \bar{X}_{НТС}$	1,070	0,893	1,290	1,079	0,895
	$CV_{ГТК}, \% / V_{НТС}, \%$	32,4	59,5	40,7	50,3	47,9
Восковая спелость / Wax ripeness	$R^2$	0,306±0,096	0,802±0,028	0,6385±0,050	0,535±0,041	0,793±0,018
	$\bar{X}_{ГТК} / \bar{X}_{НТС}$	1,343	0,922	1,320	1,110	1,190
	$CV_{ГТК}, \% / V_{НТС}, \%$	29,2	50,4	26,4	68,0	68,4

Примечания:  $R^2$  – коэффициент детерминации между гидротермическим коэффициентом (ГТК) и количеством продуктивной влаги в почве с доверительным интервалом  $\pm$  при 5%-ном уровне значимости;  $\bar{X}_{ГТК}$  – средний ГТК к моменту измерения;  $CV_{ГТК}$  – коэффициент вариации ГТК /

Notes:  $R^2$  – R-squared between hydrothermal coefficient (HTC) and amount of productive soil moisture with confidence interval  $\pm$  at 5% significance level;  $\bar{X}_{НТС}$  – average HTC at the time of measurement;  $CV_{НТС}$  – variation coefficient of HTC



**Рис. 2. Связь между ГТК (в период от посева до фазы «трубкование» ярового ячменя) и продуктивной влагой в слое почвы 0–20 см (в середине вегетации) в зависимости от предшественников (1996–2021 гг.) /**  
**Fig. 2. Relationship between HTC (from spring barley sowing to shooting stage) and productive moisture in 0–20 cm soil layer (in the mid-growth) depending on its predecessors (1996–2021)**

К восковой спелости изучаемой культуры гидротермические условия улучшились. В результате ГТК за всю вегетацию (относи-

тельно периода «посев-трубкование») в среднем повысился на 19,7 %. Многолетние колебания показателя стали существенными не только

после картофеля ( $CV = 29,2\%$ ), но и озимой пшеницы ( $CV = 26,4\%$ ). После других предшественников коэффициент вариации свидетельствовал о неоднородности значений ГТК.

Поскольку со второй половины вегетации яровой ячмень начинает полностью зависеть от летних осадков, взаимосвязь между ГТК и запасом продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см значительно усилилась ( $R^2 = 0,591$ ).

Самая тесная корреляционная связь установлена между ГТК и доступной почвенной влагой в те годы, когда изучаемая культура возделывалась после овса. Эта зависимость характеризовалась как высокая по шкале Чеддока ( $0,802 \pm 0,028$ ), которую можно выразить через прямолинейную регрессию, представленную на графике (рис. 3). Согласно уравнению ( $y = 17,45x - 5,80 \pm 7,95$ ), установленному в ходе вычислений, при отсутствии осадков в течение вегетации после данного предшественника

запасы продуктивной влаги в пахотном слое почвы к уборке ярового ячменя могли достигать отрицательных значений (до  $-5,80 \pm 7,95$  мм). При этом повышение ГТК на единицу сопровождалось увеличением количества доступной растениям почвенной влаги на  $17,45 \pm 7,95$  мм. Стоит отметить, что согласно данной модели, удовлетворительные запасы влаги обеспечивались при среднеарифметических ГТК в пределах 1,47...2,62, что обычно соответствует зонам избыточного увлажнения. С учётом 5%-ной значимости данных, подобных запасов возможно достичь при ГТК свыше 1,02 (условия зоны обеспеченного увлажнения). Минимально возможный ГТК с оценкой «хорошо» в этом случае составил 2,17, чего в опыте не наблюдали. Уравнение показало, что слой почвы 0–20 см к концу вегетации ярового ячменя при данном предшественнике мог иметь мёртвый запас влаги при ГТК менее 0,79.

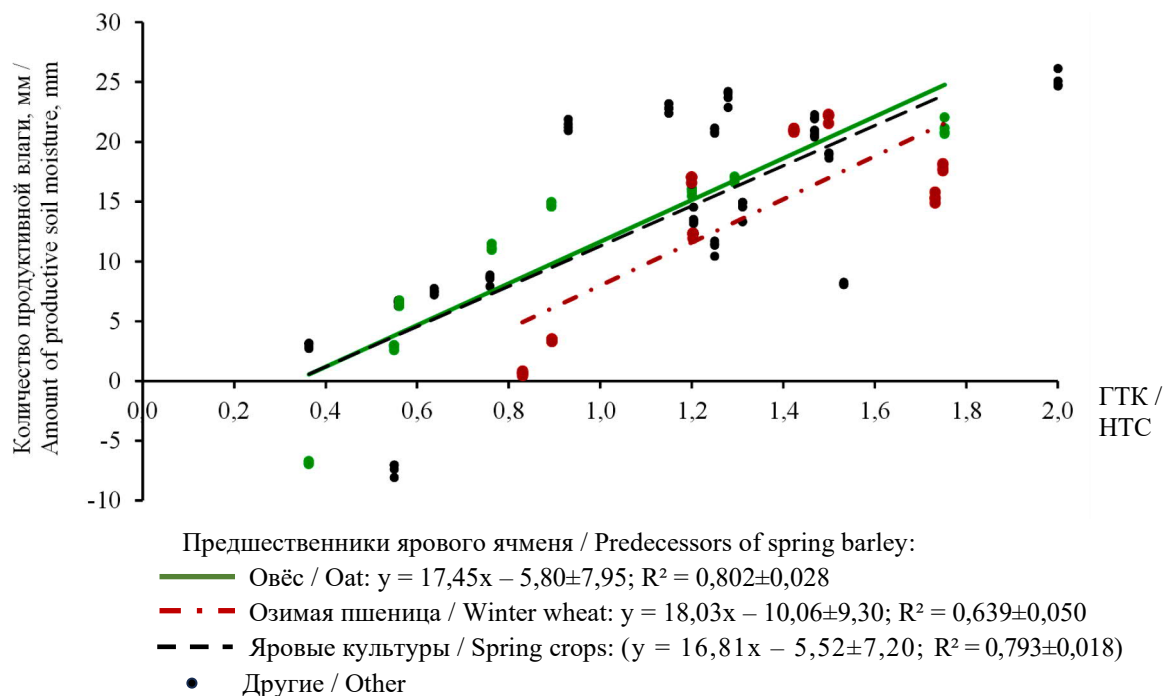


Рис. 3. Связь между значениями ГТК за вегетацию ярового ячменя и продуктивной влагой в слое почвы 0–20 см (перед уборкой урожая) в зависимости от предшественников (1996–2021 гг.) /

Fig. 3. Relationship between HTC for the spring barley vegetation and productive moisture in 0–20 cm soil layer (before harvesting) depending on its predecessors (1996–2021)

После озимой пшеницы количество продуктивной влаги в пахотном слое почвы к фазе восковой спелости ячменя также стало существенно зависеть от погодных условий. В данном случае ГТК, наблюдавшийся в пределах от 0,83 до 1,75 (рис. 3), с доступной почвенной влагой коррелировал в значительной степени ( $R^2 = 0,639 \pm 0,050$ ). Представленное в графике линейное уравнение ( $y = 18,03x - 10,06 \pm 9,30$ )

имеет коэффициент регрессии, очень близкий к полученному по предшественнику «овес». Тем не менее, согласно полученному уравнению, минимально возможное значение ГТК, позволяющее при 5%-ом уровне значимости достигать «удовлетворительных» запасов продуктивной влаги, составило 1,24, что характерно для условий зон обеспеченного увлажнения. Запасы продуктивной влаги с оценкой

«хорошо» могли быть достигнуты при значении ГТК, равном 2,26, чего не наблюдали в эксперименте. Уравнение показало, что слой почвы 0–20 см к концу вегетации ярового ячменя при данном предшественнике (озимая пшеница) в редкие годы может достичь мёртвого запаса влаги, даже при умеренном ГТК (1,07). Это значение выше, чем после овса, что обусловлено более высокой рассеянностью данных и коэффициентом регрессии. Благодаря полученным уравнениям можно утверждать, что в целом за вегетацию ярового ячменя овёс в качестве предшественника не уступает озимой пшенице по накоплению продуктивной влаги в слое почвы 0–20 см.

По предшественнику ячменя – картофелю – уравнение регрессии не вычисляли, поскольку связь между ГТК и продуктивной влагой незначительная ( $R^2 = 0,306 \pm 0,096$ ). По озимым зерновым культурам также не приведено, т. к. нижняя граница доверительного интервала коэффициента детерминации находится в средней зоне по шкале Чеддока ( $R^2 = 0,535 \pm 0,041$ ). На графике отображена пунктиром линия, описывающая связь между изучаемыми показателями после яровых культур, которая была крайне близка с приведённой для предшествующего овса. Всё же стоит отметить, что точность данной регрессионной модели в опыте самая высокая. Согласно уравнению, при отсутствии осадков в течение вегетации после яровых предшественников количество доступной воды

в пахотном слое почвы к уборке ярового ячменя составило  $5,52 \pm 7,20$  мм. При этом повышение ГТК на единицу увеличивало количество доступной растениям почвенной влаги на  $16,81 \pm 7,20$  мм. Значения ГТК, позволившие при 5%-ном уровне значимости обеспечивать запасы продуктивной влаги с оценкой «удовлетворительно» в слое почвы 0–20 см составили 1,09–3,13, «хорошо» – свыше 2,28. В данном профиле почвенного пласта к концу вегетации ярового ячменя при данных предшественниках и ГТК до 0,76 можно достичь мёртвых запасов влаги.

**Заключение.** В результате исследований выяснено, что погодные условия 1996–2021 гг. в Республике Марий Эл к посеву ярового ячменя в различных севооборотах в основном обеспечивали «удовлетворительное» (20–30 мм) количество продуктивной влаги в слое дерново-подзолистого почвы 0–20 см. Самым лучшим предшественником ячменя по сохранению доступной почвенной влаги в опыте установлен картофель. После него в течение вегетации ячменя запасы доступной воды в почве меньше всего определялись ГТК ( $R^2$  к уборке составил  $0,306 \pm 0,096$ , количество продуктивной влаги снизилось в среднем на 34,6 %). После зерновых культур, особенно овса, ГТК определял изменчивость показателя к уборке урожая значительно или высоко ( $R^2$  – до  $0,802 \pm 0,028$ ), уменьшая количество доступной влаги от момента посева в два раза (до  $15,1 \pm 5,1$  мм).

#### *Список литературы*

1. Носкова Е. Н., Козлова Л. М., Попов Ф. А., Светлакова Е. В. Влияние способов обработки почвы и видов удобрений на агрофизические свойства почвы, засоренность посевов и урожайность ячменя. Таврический вестник аграрной науки. 2022;3(31):148–158. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49865417> EDN: URZDYV
2. Гаврилова А. Ю., Конова А. М., Самсонова Н. Е. Влияние доз и сочетаний минеральных удобрений на формирование урожайности и качества зерна пивоваренного ячменя в центральном Нечерноземье. Агрохимия. 2020;(9):24–31. DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120090069> EDN: UNDGHD
3. Морозов Н. А., Ходжаева Н. А., Хрипунов А. И., Община Е. Н. Продуктивная влага и урожайность озимой пшеницы в сухостепной полосе Ставрополья. Аграрная наука. 2021;(5):47–50. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-349-5-47-50> EDN: PCQNLU
4. Gorash O., Klymyshena R., Khomina V., Vilchynska L. Ecological and biological conformity of conditions of the brewing barley cultivation zone. Ukrainian Journal of Ecology. 2020;10(1):246–253. DOI: [https://doi.org/10.15421/2020\\_39](https://doi.org/10.15421/2020_39)
5. Курылева А. Г. Адаптивная реакция сортов ячменя при экологическом испытании в условиях Удмуртской Республики. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2018;(6):52–57. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57> EDN: YPVSZN
6. Ключков А. В., Соломко О. Б., Ключкова О. С. Влияние погодных условий на урожайность сельскохозяйственных культур. Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. 2019;(2):101–105. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38552716> EDN: HHOJJO
7. Левакова О. В., Дедушев И. А., Ерошенко Л. М., Ромахин М. М., Ерошенко А. Н., Ерошенко Н. А., Болдырев М. А., Гладышева О. В. Влияние агрометеорологических изменений климата на зерновую продуктивность ярового ячменя в условиях Нечерноземной зоны РФ. Юг России: экология, развитие. 2022;171(62):128–135. DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-128-135> EDN: APZPOW



8. Piniewski M., Marcinkowski P., O'Keeffe J., Szcześniak M., Nieróbca A., Kozyra J., Kundzewicz Z. W., Okruszko T. Model-based reconstruction and projections of soil moisture anomalies and crop losses in Poland. *Theor Appl Climatol.* 2020;140(1):691–708. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03106-6>
9. Lee H., Calvin K., Dasgupta D., Krinner G., Mukherji A., Thorne P., et al. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. 1–34. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
10. Dube K., Nhamo G., Chikodzi D. Climate change-induced droughts and tourism: Impacts and responses of Western Cape province, South Africa. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism.* 2022;39:100319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100319>
11. Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Sánchez N., Gumuzzio A. A soil water based index as a suitable agricultural drought indicator. *Journal of Hydrology.* 2015;522:265–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.051>
12. Benito-Verdugo P., Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Almendra-Martín L., Gaona J., Herrero-Jiménez C. M. Impact of Agricultural Drought on Barley and Wheat Yield: A Comparative Case Study of Spain and Germany. *Agriculture.* 2023;13(11):2111. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112111>
13. Appiah M., Abdulai I., Schulman A. H., Moshelion M., Dewi E. S., Daszkowska-Golec A., Bracho-Mujica G., Rötter R. P. Drought response of water-conserving and non-conserving spring barley cultivars. *Frontiers in Plant Science.* 2023;14:1247853. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1247853>
14. Groh J., Vanderborght J., Pütz T., Vogel H. J., Gründling R., Rupp H., et al. Responses of soil water storage and crop water use efficiency to changing climatic conditions: a lysimeter-based space-for-time approach. *Hydrology and Earth System Sciences.* 2020;24(3):1211–1225. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-24-1211-2020>
15. Havrlentová M., Dvořáček V., Jurkaninová L., Gregusová V. Unraveling the Potential of  $\beta$ -D-Glucans in Poales. *Life.* 2023;13(6):1387. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13061387>
16. Khaleghdoust B., Esmailzadeh-Salestani K., Korge M., Alaru M., Möll K., Värnik R., et al. Barley and wheat beta-glucan content influenced by weather, fertilization, and genotype. *Frontiers in Sustainable Food Systems.* 2024;7:1326716. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1326716>
17. Bezpal'ko V. V., Stankevych S. V., Zhukova L. V., Zabrodina I. V., Turenko V. P., Horyainova V. V., et al. Pre-sowing seed treatment in winter wheat and spring barley cultivation. *Ukrainian Journal of Ecology.* 2020;10(6):255–268. DOI: [https://doi.org/10.15421/2020\\_291](https://doi.org/10.15421/2020_291)
18. Mitrofanov D. V., Zorov A. A., Skorokhodov V. Y., Kaftan Y. V., Zenkova N. A. The influence of main factors on productivity of barley in the steppe zone of the Southern Urals. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci.* 2022;1045(1):012105. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012105>
19. Yang M., Wang G., Lazin R., Shen X., Anagnostou E. Impact of planting time soil moisture on cereal crop yield in the Upper Blue Nile Basin. *Agricultural Water Management.* 2021;243:106430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106430>
20. Osman R., Tahir M. N., Ata-Ul-Karim S. T., Ishaque W., Xu M. Exploring the Impacts of Genotype-Management-Environment Interactions on Wheat Productivity, Water Use Efficiency, and Nitrogen Use Efficiency under Rainfed Conditions. *Plants.* 2021;10(11):2310. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112310>
21. Козлова Л. М., Носкова Е. Н., Попов Ф. А. Оценка развития болезней зерновых культур при ресурсосберегающих системах обработки почвы и применении биопрепаратов в адаптивно-ландшафтном земледелии. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока.* 2020;21(6):721–732. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.721-732> EDN: FUMOYG
22. Чернов О. С. Яровая пшеница в агроэкосистемах Верхневолжья. *Владимирский земледелец.* 2022;(4):43–52. DOI: <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-4-43-52> EDN: ZDHAUY
23. Чайкин В. В., Новичихин А. М. Влияние удобрений на водный режим культур севооборота в условиях Воронежской области. *Международный научно-исследовательский журнал.* 2023;(11(137)):22. DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.80> EDN: QJSJRQ
24. Ward M., Forristal P. D., McDonnell K. Impact of field headlands on wheat and barley performance in a cool Atlantic climate as assessed in 40 Irish tillage fields. *Irish Journal of Agricultural and Food Research.* 2020;59(1):85–97. DOI: <https://doi.org/10.15212/ijafr-2020-0113>
25. Attia M., Mohamed M., Mofreh Abou Tahoun A., Abdelghany F., Elserafi R. Productivity of some barley cultivars as affected by supplemental irrigation under rainfed conditions. *Australian Journal of Crop Science.* 2022;16(05):665–675. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.05.p3647>
26. Батищев И. В., Ильинская И. Н. Почвенные влагозапасы и водный баланс посевов ячменя ярового на эрозионно опасном склоне. *Мелиорация и гидротехника.* 2023;13(4):161–181. DOI: <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-161-181> EDN: OBHCXF
27. Глуховцев В. В., Санина Н. В. Эффективность листовых подкормок в аридных условиях Среднего Поволжья при возделывании ярового ячменя. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета.* 2016;4(60):40–42. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26586307> EDN: UDPVSK

28. Филатов А. Н., Мазуров В. Н., Храмой В. К., Арланцева Е. Р. Влияние способов обработки почвы и уровней минерального питания на урожайность и качество зерна ярового ячменя сорта Владимир в условиях центрального района Нечерноземной зоны. Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021;(1):18–28. DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-18-28> EDN: FZSJZN

### References

1. Noskova E. N., Kozlova L. M., Popov F. A., Svetlakov E. V. Influence of tillage methods and fertilizer types on agrophysical properties of soil, weed infestation of crops and yield of barley. *Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki* = Taurida herald of the agrarian sciences. 2022;3(31):148–158. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49865417>
2. Gavrilova A. Yu., Konova A. M., Samsonova N. E. Influence of doses and combinations of mineral fertilizers on formation of productivity and quality of malting barley grain in the Central Non-chernozem region. *Agrokhimiya*. 2020;(9):24–31. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31857/S0002188120090069>
3. Morozov N. A., Khodzhaeva N. A., Khripunov A. I., Obshchiya E. N. Productive moisture and yield of winter wheat in the dry-steppe belt of the Stavropol region. *Agrarnaya nauka* = Agrarian science. 2021;(5):47–50. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-349-5-47-50>
4. Gorash O., Klymyshena R., Khomina V., Vilchynska L. Ecological and biological conformity of conditions of the brewing barley cultivation zone. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020;10(1):246–253. DOI: [https://doi.org/10.15421/2020\\_39](https://doi.org/10.15421/2020_39)
5. Kuryleva A. G. Adaptive reaction of barley varieties during environmental testing in the Udmurt Republic. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2018;(6):52–57. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2018.67.6.52-57>
6. Klochkov A. V., Solomko O. B., Klochkova O. S. The influence of weather conditions on crop yields. *Vestnik Belorusskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. 2019;(2):101–105. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38552716>
7. Levakova O. V., Dedushev I. A., Eroshenko L. M., Romakhin M. M., Eroshenko A. N., Eroshenko N. A., Boldyrev M. A., Gladysheva O. V. Influence of agrometeorological climate changes on grain productivity of spring barley in the Non-chernozem zone of the Russian Federation. *Yug Rossii: ekologiya, razvitie* = South of Russia: ecology, development. 2022;17(1):128–135. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18470/1992-1098-2022-1-128-135>
8. Piniewski M., Marcinkowski P., O'Keeffe J., Szczesniak M., Nieróbca A., Kozyra J., Kundzewicz Z. W., Okruszko T. Model-based reconstruction and projections of soil moisture anomalies and crop losses in Poland. *Theor Appl Climatol*. 2020;140(1):691–708. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00704-020-03106-6>
9. Lee H., Calvin K., Dasgupta D., Krinner G., Mukherji A., Thorne P., et al. Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva, Switzerland: IPCC, 2023. 1–34. DOI: <https://doi.org/10.59327/IPCC/AR6-9789291691647>
10. Dube K., Nhamo G., Chikodzi D. Climate change-induced droughts and tourism: Impacts and responses of Western Cape province, South Africa. *Journal of Outdoor Recreation and Tourism*. 2022;39:100319. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jort.2020.100319>
11. Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Sánchez N., Gumuzzio A. A soil water based index as a suitable agricultural drought indicator. *Journal of Hydrology*. 2015;522:265–273. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2014.12.051>
12. Benito-Verdugo P., Martínez-Fernández J., González-Zamora A., Almendra-Martín L., Gaona J., Herrero-Jiménez C. M. Impact of Agricultural Drought on Barley and Wheat Yield: A Comparative Case Study of Spain and Germany. *Agriculture*. 2023;13(11):2111. DOI: <https://doi.org/10.3390/agriculture13112111>
13. Appiah M., Abdulai I., Schulman A. H., Moshelion M., Dewi E. S., Daszkowska-Golec A., Bracho-Mujica G., Rötter R. P. Drought response of water-conserving and non-conserving spring barley cultivars. *Frontiers in Plant Science*. 2023;14:1247853. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2023.1247853>
14. Groh J., Vanderborght J., Pütz T., Vogel H. J., Gründling R., Rupp H., et al. Responses of soil water storage and crop water use efficiency to changing climatic conditions: a lysimeter-based space-for-time approach. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2020;24(3):1211–1225. DOI: <https://doi.org/10.5194/hess-24-1211-2020>
15. Havrlentová M., Dvořáček V., Jurkaninová L., Gregusová V. Unraveling the Potential of  $\beta$ -D-Glucans in Poales. *Life*. 2023;13(6):1387. DOI: <https://doi.org/10.3390/life13061387>
16. Khaleghdoust B., Esmaeilzadeh-Salestani K., Korge M., Alaru M., Möll K., Värnik R., et al. Barley and wheat beta-glucan content influenced by weather, fertilization, and genotype. *Frontiers in Sustainable Food Systems*. 2024;7:1326716. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1326716>
17. Bezpal'ko V. V., Stankevych S. V., Zhukova L. V., Zabrodina I. V., Turenko V. P., Horyainova V. V., et al. Pre-sowing seed treatment in winter wheat and spring barley cultivation. *Ukrainian Journal of Ecology*. 2020;10(6):255–268. DOI: [https://doi.org/10.15421/2020\\_291](https://doi.org/10.15421/2020_291)

18. Mitrofanov D. V., Zorov A. A., Skorokhodov V. Y., Kaftan Y. V., Zenkova N. A. The influence of main factors on productivity of barley in the steppe zone of the Southern Urals. IOP Conf Ser: Earth Environ Sci. 2022;1045(1):012105. DOI: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1045/1/012105>
19. Yang M., Wang G., Lazin R., Shen X., Anagnostou E. Impact of planting time soil moisture on cereal crop yield in the Upper Blue Nile Basin. Agricultural Water Management. 2021;243:106430. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2020.106430>
20. Osman R., Tahir M. N., Ata-Ul-Karim S. T., Ishaque W., Xu M. Exploring the Impacts of Genotype-Management-Environment Interactions on Wheat Productivity, Water Use Efficiency, and Nitrogen Use Efficiency under Rainfed Conditions. Plants. 2021;10(11):2310. DOI: <https://doi.org/10.3390/plants10112310>
21. Kozlova L. M., Noskova E. N., Popov F. A. Assessment of the development of cereal diseases when applying resource saving soil tillage systems and using biopreparations in adaptive landscape crop farming. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2020;21(6):721–732. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.721-732>
22. Chernov O. S. Spring wheat in agroecosystems of the Upper Volga. *Vladimirskiy zemledelets* = Vladimir agriculturist. 2022;(4):43–52. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2225-2584-2022-4-43-52>
23. Chaykin V. V., Novichikhin A. M. Influence of fertilizers on the water regime of crop rotation in conditions of Voronezh oblast. *Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal. 2023;(11(137)):22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.23670/IRJ.2023.137.80>
24. Ward M., Forristal P. D., McDonnell K. Impact of field headlands on wheat and barley performance in a cool Atlantic climate as assessed in 40 Irish tillage fields. Irish Journal of Agricultural and Food Research. 2020;59(1):85–97. DOI: <https://doi.org/10.15212/ijaf-2020-0113>
25. Attia M., Mohamed M., Mofreh Abou Tahoun A., Abdelghany F., Elserafi R. Productivity of some barley cultivars as affected by supplemental irrigation under rainfed conditions. Australian Journal of Crop Science. 2022;16(05):665–675. DOI: <https://doi.org/10.21475/ajcs.22.16.05.p3647>
26. Batishchev I. V., Ilinskaya I. N. Soil water storage and water balance of spring barley crops on the erosion-hazardous slope. *Melioratsiya i gidrotekhnika* = Land Reclamation and Hydraulic Engineering. 2023;13(4):161–181. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31774/2712-9357-2023-13-4-161-181>
27. Glukhovtsev V. V., Sanina N. V. Effectiveness of foliar extra nutrition of spring barley under arid conditions of Central Povolzh'ye. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Izvestia Orenburg State Agrarian University. 2016;4(60):40–42. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26586307>
28. Filatov A. N., Mazurov V. N., Khramov V. K., Arlantseva E. R. Effect of tillage methods and levels of mineral nutrition on yield and grain quality of the “Vladimir” spring barley variety in the central region of the Non-chernozem zone. *Izvestiya Timiryazevskoy sel'skokhozyaystvennoy akademii* = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;(1):18–28. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2021-1-18-28>

#### **Сведения об авторах**

✉ **Свечников Александр Константинович**, кандидат с.-х. наук, научный сотрудник отдела технологий возделывания сельскохозяйственных культур, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: [via@mari-el.ru](mailto:via@mari-el.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0070-5348>, e-mail: [koalder@yandex.ru](mailto:koalder@yandex.ru)

**Замятин Сергей Анатольевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела технологий возделывания сельскохозяйственных культур, заместитель директора по научной деятельности, Марийский научно-исследовательский институт сельского хозяйства – филиал ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого», ул. Победы, д. 10, п. Руэм, Медведевский район, Республика Марий Эл, Российская Федерация, 425231, e-mail: [via@mari-el.ru](mailto:via@mari-el.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3999-9179>

#### **Information about the authors**

✉ **Alexandr K. Svechnikov**, PhD in Agricultural Science, researcher, the Department of Cultivation of Farm Crops, Mari Agricultural Research Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: [via@mari-el.ru](mailto:via@mari-el.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0070-5348>, e-mail: [koalder@yandex.ru](mailto:koalder@yandex.ru)

**Sergey A. Zamyatin**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Cultivation of Farm Crops, Principal Director of Scientific Research, Mari Agricultural Research Institute – Branch of Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Pobedy St., 10, Medvedevsky district, Ruem village, Mari El Republic, Russian Federation, 425231, e-mail: [via@mari-el.ru](mailto:via@mari-el.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-3999-9179>

✉ – Для контактов / Corresponding author

# КОРМОПРОИЗВОДСТВО: КОРМЛЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ЖИВОТНЫХ / FODDER PRODUCTION: LIVESTOCK FEEDING

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1124-1136>



УДК 614.95

## Результаты микотоксикологического мониторинга кормов крупного рогатого скота, заготовленных в Вологодской области

© 2024. А. В. Платонов, С. В. Ерегина ✉, И. В. Артамонов

ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», г. Вологда, Российская Федерация

Проведено микотоксикологическое исследование различных кормов для крупного рогатого скота с целью выделения наиболее пораженных видов кормов и распространенных микотоксинов. В ходе продолжительного мониторинга сходных по видовому составу, условиям заготовки и хранения образцов кормов для определения динамики количества микотоксинов исследовано свыше 260 растительных образцов из ряда хозяйств Вологодской области, из них 61 образец на одновременное содержание 4 микотоксинов и 22 образца на одновременное содержание 5 микотоксинов. Содержание основных групп микотоксинов в заготавливаемых кормах анализировали методом ИФА-анализа. Всего за 2022–2024 годы проведено 509 исследований, в том числе на содержание суммы афлатоксинов – 155 анализов, охратоксина-А – 132, зеараленона – 105, дезоксиниваленола (ДОН) – 89, Т-2 токсина – 28 анализов. Результаты исследования показали, что 99 % изученных образцов в той или иной мере заражены микотоксинами: при этом все анализируемые образцы были заражены афлатоксинами и зеараленоном, 97 % – охратоксином-А и менее трети образцов – ДОН, причем значительная часть образцов подвержена контаминации двумя и более микотоксинами. Образцы зерна, зеленой массы и сенажа содержали микотоксины ниже уровня ПДК, в образцах сена преобладающим контаминантом являлся Т-2 токсин, содержание которого в 9 раз выше уровня ПДК. По результатам анализов silosов разного состава обнаружено, что наиболее зараженными являлись бобовые и злаковые монови́довые silосы – превышение ПДК по сумме афлатоксинов в среднем составило 4,1–4,2 раза, по охратоксину-А – 1,1–1,3 раза. Мониторинг содержания микотоксинов показал, что в образцах злаково-бобового silоса с увеличением срока хранения происходит возрастание содержания ряда микотоксинов. Так, сумма афлатоксинов через три-четыре недели после заготовки составила 3,27 мкг/кг, через 4 месяца – 5,74 мкг/кг, 10 месяцев – 22,31 мкг/кг, аналогичную тенденцию наблюдали при определении зеараленона. Содержание охратоксина-А, напротив, несколько снижалось. Относительно равномерная зараженность исследованных образцов позволяет прогнозировать как композицию контаминантов, так и степень зараженности ими заготавливаемых кормов, что необходимо учитывать соответствующим специалистам животноводческих предприятий области при разработке мер и мероприятий, направленных на профилактику микотоксикозов.

**Ключевые слова:** афлатоксин, дезоксиниваленол, зеараленон, охратоксин-А, Т-2 токсин, silос, корма

**Благодарности:** исследование выполнено при поддержке гранта Российского научного фонда № 23-26-00163 «Особенности и факторы накопления микотоксинов в заготавливаемых кормах для крупного рогатого скота в условиях Северо-Запада России» (<https://rscf.ru/project/23-26-00163/>).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Платонов А. В., Ерегина С. В., Артамонов И. В. Результаты микотоксикологического мониторинга кормов крупного рогатого скота, заготовленных в Вологодской области. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1124–1136. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1124-1136>

Поступила: 15.07.2024

Принята к публикации: 02.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Results of mycotoxicological monitoring of cattle feed harvested in the Vologda Region

© 2024. Andrey V. Platonov, Svetlana V. Eregina ✉, Ivan V. Artamonov

Vologda Research Center of the Russian Academy of Sciences, Vologda, Russian Federation

There has been carried a mycotoxicological research of various feed for cattle to find the most contaminated types of feed and the most common mycotoxins. During the long-term monitoring of feed samples similar in species composition, harvesting and storage conditions to determine the dynamics of the number of mycotoxins over 260 plant samples from a number of the Vologda Region farms were studied, among them 61 samples were examined for the simultaneous content of 4 mycotoxins and 22 samples for the simultaneous content of 5 mycotoxins. The content of the main groups of mycotoxins in harvested feeds



using the method of EIA analysis was investigated. A total of 509 analyses were conducted for the period of 2022–2024, including 155 analyses for aflatoxin sum, 132 for ochratoxin-A, 105 for zearalenone, 89 for deoxynivalenol (DON), and 28 for T-2 toxin. The research results revealed that 99 % of the studied samples were contaminated with mycotoxins to some extent: all analyzed samples were infected with aflatoxins and zearalenone, 97 % of the samples were damaged by ochratoxin-A and less than a third of the samples were infected with DON. Moreover, a significant part of the samples was contaminated with two or more mycotoxins. Samples of grain, green mass and haylage contained mycotoxins below the maximum allowable concentration (MAC) level, in hay samples the predominant contaminant was T-2 toxin, the content of which was 9 times higher than the MAC level. The results of analysis of silages of different composition proved that the most contaminated were legume and cereal mono-species silages, so the exceeding of MAC for the sum of aflatoxins on average is 4.1–4.2 times, for ochratoxin-A – 1.1–1.3 times. Monitoring of mycotoxin content showed that samples of cereal-bean silage had an increase in the content of a number of mycotoxins with increasing storage time. For instance, the sum of aflatoxins in three-four weeks after harvesting was 3.27 µg/kg, in 4 months – 5.74 µg/kg, in 10 months – 22.31 µg/kg, a similar trend was observed in the determination of zearalenone. On the contrary, the content of ochratoxin-A slightly decreased. Relatively uniform contamination of the studied samples allows predicting both the composition of contaminants and the degree of their contamination of prepared fodder, which should be taken into account by the relevant specialists of livestock enterprises in the region when developing measures and activities aimed at preventing mycotoxicosis.

**Key words:** aflatoxin, deoxynivalenol, zearalenone, ochratoxin-A, T-2 toxin, silage, fodder

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Russian Science Foundation Grant No. 23-26-00163 “Features and factors of mycotoxin accumulation in harvested forages for cattle in the conditions of North-West Russia” (<https://rscf.ru/project/23-26-00163/>). 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:** Platonov A. V., Ereghina S. V., Artamonov I. V. Results of mycotoxicological monitoring of cattle feed harvested in the Vologda Region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1124–1136. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1124-1136>

Received: 15.07.2024

Accepted for publication: 02.12.2024

Published online: 25.12.2024

Исследование ряда продуцентов плесневых грибов тесно связано с сельским хозяйством, где их патогенные свойства проявляются наиболее ярко. Начало прямого или косвенного изучения микотоксинов приходится на вторую половину XIX века, когда впервые было установлено, что плесневые грибы представляют собой источник повышенной токсической опасности для людей и животных. Еще в начале XX века ведущие микробиологи того времени заявляли, что нет достаточных оснований полагать, что продукты, зараженные плесенью, могут вызывать болезни. Лишь более детальные исследования позволили убедительно продемонстрировать, что токсины, вызывающие различные заболевания, являются продуктами жизнедеятельности плесневых грибов. Основные продуценты микотоксинов включают роды *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*. *Aspergillus flavus* и *Aspergillus parasiticus* производят афлатоксин. Афлатоксин является одним из наиболее токсичных природных веществ и может вызывать рак печени, иммунодефицитные состояния и другие заболевания. *Penicillium verrucosum* и *Penicillium roqueforti* могут производить охратоксин, который вызывает повреждение почек и печени, а также нарушает функцию нервной системы. Род *Fusarium* включает множество видов, таких как *Fusarium graminearum* и *Fusarium moniliforme*, которые производят трихотецены [1].

В обозримом будущем ожидается увеличение числа случаев заражения микотоксинами среди продуктов питания и кормовых ресурсов, что обусловлено глобальной тенденцией к унификации рациона жителей всех стран мира, которая ведет к уменьшению видового разнообразия сельскохозяйственных культур. В частности, наблюдается значительное сокращение площадей, ранее занятых традиционными масличными культурами и клубневыми растениями, такими как ямс, маниок и батат [2].

Сокращение видового разнообразия культур в развитых государствах влечет за собой увеличение однородности заготавливаемого сырья, что способствует быстрому распространению микотоксинов. Особенно это актуально для стран с жарким и влажным климатом, таких как страны Африки, Юго-Восточной Азии и Южной Америки, где условия для роста плесневых грибов максимально благоприятны. По данным глобального исследования контаминации микотоксинами за 2023 год, более 70 % мирового урожая поражено микотоксинами, аналогичная ситуация наблюдается и в нашей стране [3].

Использование кормов, контаминированных микотоксинами, считается одной из основных причин недополучения продукции и ухудшения ее качества, снижения репродуктивных функций и иммунного статуса, повышения смертности. Потребление пораженных микотоксинами кормов приводит к развитию



иммунодепрессии и появлению среди животных, особенно молодняка, инфицированных патологий, обусловленных циркулирующими среди животных патогенами, снижению эффективности лечения и вакцинаций, а также сохранности поголовья [4].

Заражение грубых и сочных кормов микотоксинами является распространенной проблемой во многих регионах России. Так, при исследовании контаминации кормов для крупного рогатого скота в Центрально-Черноземной зоне показано, что лишь 8,8 % проб были свободными от микотоксинов, а 89,4 % проб содержат два и более вида микотоксинов, при этом наиболее контаминированными оказались моноорма [5]. В исследованиях А. А. Буркина с соавторами в образцах, собранных в Московской, Тверской областях и Республике Карелия, микотоксины были представлены 12–15 компонентами во всех местах обитания и в разные сроки вегетации (июль, август и сентябрь), также установлены случаи совместного значительного накопления токсинов ( $> 1000$  мкг/кг) в ряде образцов растительного корма [6]. Имеются работы по обнаружению микотоксинов в кормах для сельскохозяйственных животных в Центральной России [7], Поволжье [8, 9], Якутии [10] и других регионах [11, 12, 13].

Отмечается, что одновременное поражение кормов микотоксинами представляет наибольшую опасность, поскольку их совместное действие усиливает токсическое действие на организм благодаря синергетическому эффекту и аддитивным свойствам [14, 15]. Также микотоксины, вызывая различные клинические симптомы, способны маскировать свое негативное воздействие на живые организмы, что усугубляет проблему [16].

Отечественные и зарубежные исследования, выполненные в разное время на протяжении XX века, установили основные факторы, способствующие распространению плесневых грибов, поражающих корма. Прежде всего, и это было многократно подтверждено, следует учитывать особенности региона возделывания основных кормовых культур. Часто плесневые грибы приурочены к определенным географическим областям, где составляют количественное большинство в видовом составе грибов, обнаруживаемых в пораженных кормах. Важными факторами, способствующими развитию микотоксинов являются: температура (оптимальной температурой для развития микотоксинов считается диапазон между 20 и 30 °C,

однако некоторые виды грибов могут развиваться и при более низких температурах); влажность (высокая влажность воздуха и поверхности способствует росту грибов и производству ими микотоксинов); питательные вещества (источником питания могут служить органические материалы, такие как зерна, семена и другие продукты), также важную роль в развитии продуцентов микотоксинов играет время. Кроме того, необходимо учитывать видовой состав растений, служащих основой кормов. Все эти факторы определяют комплекс микотоксинов, которые могут быть открыты в пораженных образцах. Однако изучению динамики накопления микотоксинов в кормах посвящены только единичные работы [17, 18, 19].

Ранее считалось, что жвачные животные слабо восприимчивы к воздействию микотоксинов. Это мнение основывалось на метаболической активности микрофлоры рубца. Однако данное утверждение было верно лишь для коров с годовым надоем молока не более 5 тысяч кг [20]. В настоящее время установлено, что микрофлора рубца современных высокопродуктивных коров подвержена серьезным дисбиотическим нарушениям и утрачивает способность к естественной детоксикации микотоксинов [21]. Кроме того, многие исследователи отмечают, что несмотря на способность микроорганизмов в рубце к нейтрализации некоторых микотоксинов их метаболиты могут представлять еще большую опасность. Таким образом, микотоксины высокопродуктивных жвачных животных не обезвреживаются в рубце, а всасываются через стенки кишечника как у моногастричных животных, и это является еще одной причиной для усиления контроля качества кормов.

Таким образом, проблема контаминации микотоксинами травяных кормов признается мировой наукой как особо сложная, и в последние десятилетия предпринимаются активные усилия по выяснению источников обнаружения метаболитов грибов в вегетирующих растениях и факторов, влияющих на их содержание при консервации и хранении кормов [22, 23, 24].

Учитывая изложенное выше, вполне объясним интерес к изучению распространения микотоксинов и характера этого распространения в пределах Вологодской области, имеющей развитое сельское хозяйство молочно-мясной направленности.

Сочные силосованные корма – основной вид кормов, самостоятельно заготавливаемых в хозяйствах Вологодской области. Почти 89 %

от объема заготовленных в области кормов приходится на силос. Такие корма являются основой рационов сельскохозяйственных животных и, следовательно, при условии заражения микотоксинами, будут основным источником их поступления в организм животных.

Силосованные корма заготавливаются регулярно на больших площадях, имеют различный состав и сходные условия заготовки. Так, силосование возможно благодаря протекающим в растительной массе процессам ферментации при соблюдении анаэробных условий. Способы заготовки фактически исключают занесение продуцентов микотоксинов извне после закладки силосной ямы. Следовательно, в массе заготовленного корма будут развиваться лишь те продуценты, которые были занесены в момент скашивания зеленой массы, то есть разнообразие токсинов будет обусловлено лишь разнообразием плесневых грибов, присутствующих на данной территории в виде естественного компонента микрофлоры. Заготовленные корма по причине особенностей их заготовки, хранения и использования позволяют проследить динамику накопления микотоксинов.

По доле первоклассного корма силос среди всех видов заготавливаемых кормов в области занимает первое место. Этот факт связан как с развитием технологии заготовки, так и с тем, что сельхозпредприятия для заготовки данного вида корма используют травы 1-2 года пользования, стараясь их убрать в наиболее подходящие сроки. В последние годы в Вологодской области свыше 60 % заготовленного силоса закладывается с биологическими консервантами. В среднем за три года исследования образцы силоса с консервантами по качеству всегда лучше, чем без них. В период 2020–2022 гг. применение технологии консервации снизило долю неклассного силоса до 7–16 % и повысило уровень выхода первоклассного до 43–62 % в общем объеме исследованного корма.

Таким образом, анализ состояния кормовой базы хозяйств региона показывает, что в структуре посевных площадей Вологодской области ведущее место занимают кормовые культуры. Среди кормов наибольшие объемы заготовки имеет силос. Потребность животноводства в кормах по объемам удовлетворяется на 100–120 %, а по их энергетической и питательной ценности – лишь на 65–80 %.

**Цель исследований** – проведение микотоксикологического мониторинга различных кормов для выявления наиболее пораженных видов и распространенных в них микотоксинов.

*Научная новизна* – так как изучение контаминации микотоксинами используемых кормов сельхозпредприятиями региона ведется ограниченно [25], полученные в работе данные позволят усовершенствовать систему оценки качества заготавливаемых кормов для крупного рогатого скота сельхозпредприятиями Вологодской области.

**Материал и методы.** Территория Вологодской области характеризуется умеренно-континентальным климатом с коротким теплым летом, продолжительной, влажной осенью и умеренно холодной зимой, что вполне благоприятствует как сохранению грибов в почве, так и их активному росту в массе заготовленных кормов в летне-осенний период, а в массе влажных силосованных кормов, где фактически круглый год сохраняются благоприятные условия, – и в зимний период, и до поздней весны.

В работе проведено исследование инфицированности микотоксинами кормов для КРС заготовки 2022–2024 гг. Полевые работы по сбору образцов корма были осуществлены в 17 из 26 муниципальных образований Вологодской области: Бабаевском, Бабушкинском, Верховажском, Вожегодском, Кичменгско-Городецком, Никольском, Нюксенском, Сямженском, Харовском, Череповецком – по одному хозяйству; в Тарногском, Тотемском, Устюженском, Чагодощенском, Шекснинском – по два хозяйства; Вологодском – три хозяйства; Грязовецком – четыре хозяйства.

Пробы корма для анализа представлены: сено – 25 образцов; сенаж и зерносенаж – 15; зеленая масса – свыше 50; силос различного состава – свыше 150 образцов. Состав силосов: бобово-злаковый и злаково-бобовый около половины образцов (клеверно-тимофеечный, викоовсяный, клеверно-злаковый), далее по количеству образцов – разнотравный, бобовый, злаковый и прочие силосы (например, кукурузный). Кроме того, анализу подвергалось зерно ячменя, кукурузы и овса.

Всего исследовано свыше 260 образцов корма, из них 61 образец на одновременное содержание 4 микотоксинов и 22 – 5 микотоксинов. Образцы кормов были получены из различных хозяйств Вологодской области и представляли собой материал естественной для данного типа образца влажности (сухие образцы для сена и соломы, с естественной для растительных образцов влажностью – для зеленой массы, с повышенной – для заготовленных

кормов: силоса, сенажа). Отбор проб осуществляли по ГОСТ Р ИСО 6497-2011<sup>1</sup>. Из партии кормов отбирали несколько точечных проб из разных мест (масса пробы около 100 г). Чем больше масса анализируемой партии кормов, тем больше отбирали точечных проб (по возможности не меньше 10). Затем из точечных проб делали объединенную пробу, из разных частей которой выполняли лабораторную пробу весом около 2 кг для зеленой массы, около 1 кг – для силоса, сенажа и сена. Пробы запечатывали в чистый пакет, маркировали (дата отбора, размер партии, вид корма, ботанический состав, дата производства и пр.). Для анализа отбирали пробы без видимых признаков поражения кормов плесневыми грибами. Отправку аналитической пробы на исследование осуществляли в период не более двух суток с момента отбора при условии, что она хранилась при температурном режиме 2–8 °С. Строгое соблюдение порядка отбора проб и своевременность их доставки в лабораторию необходимо для получения достоверных результатов исследования [26].

Анализ исследуемых токсинов в рамках данной работы выполняли методом ИФА на анализаторе иммуноферментных реакций АИФР-01 УНИПЛАН (Пикон, Россия) с помощью стандартных тест-систем МУЛЬТИСКРИН® производства КомПродСервис (Беларусь). Тест-системы соответствуют требованиям ГОСТ 31653–2012<sup>2</sup> и предназначены, в том числе для определения микотоксинов в кормовых добавках растительного происхождения, в зеленых, сочных и грубых кормах. Среди положительных сторон метода ИФА нужно отметить простоту подготовки пробы (малое время экстрагирования – 5–7 минут, достаточно продолжительное время жизни пробы – до 3 часов (при необходимости готовые пробы могут сохраняться до 1 месяца при температуре хранения – 30 °С), малые навески образца – от 1 до 5 граммов (с уменьшением массы навески снижается точность результата), отсутствие необходимости дополнительной очистки, высокую селективность, что позволяет в одной и той же пробе определять несколько токсинов без необходимости выделения каждого из них (в случае определения суммы афлатоксинов, зеараленона и охратоксина-А), относительную

быстроту выполнения анализа (анализ до 20 образцов занимает от 20 минут до 1 часа в зависимости от протокола), а также высокую чувствительность и относительно низкую погрешность.

Каждый образец, вне зависимости от его типа (сухой или влажный), высушивали до постоянной массы и измельчали дважды: первое измельчение – до размера частиц не более 2–3 мм, второе – до размера не более 0,1–0,2 мм. В работе использовали высокоскоростную мельницу малой загрузки (Вьюга-М). В серии предварительных исследований был проведен выбор растворителя или сочетания растворителей (метанол:вода), обеспечивающих наиболее полное извлечение каждого токсина и минимизацию параллельного экстрагирования веществ, способных повлиять на результат анализа.

При выполнении работы измельченный образец немедленно подвергали экстракции смесью метанола и воды в объемных отношениях 70:30 (при извлечении афлатоксинов, зеараленона, охратоксина-А, Т-2 токсина) либо воды в случае извлечения дезоксиниваленола. Количественные соотношения массы навески в граммах и объема экстрагирующей смеси в мл – 1:5 для афлатоксинов, зеараленона, охратоксина-А, Т-2 токсина, и 1:20 для дезоксиниваленола. Время экстракции с перемешиванием на лабораторном шейкере – 5–7 минут.

После экстракции смесь центрифугировали при 1600 G, что позволило исключить из процесса подготовки пробы стадию фильтрации через обеззоленные фильтры «синяя лента», увеличивающую время пробоподготовки как возможную причину дополнительной потери токсинов ввиду их деградации при контакте с воздухом и растворителем.

После центрифугирования отбирали до 5 мл супернатанта и использовали его для дальнейшего анализа в течение 2 часов, который проводили в соответствии с протоколом, предоставленным производителем аналитических наборов. Каждое испытание сопровождалось построением калибровочной зависимости на основании оптических плотностей пяти стандартных растворов исследуемых токсинов. Оптическую плотность растворов прочитывали на длине волны 450 нм.

---

<sup>1</sup>ГОСТ Р ИСО 6497-2011. Корма для животных. Отбор проб. М.: Стандартинформ, 2012. 19 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293790/4293790467.pdf>

<sup>2</sup>ГОСТ 31653–2012. Корма. Метод иммуноферментного определения микотоксинов. М.: Стандартинформ, 2012. 15 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4293788/4293788688.pdf>

При проведении исследований чистыми от микотоксинов считали образцы, в которых их содержание находилось меньше нижнего предела обнаружения тест-систем (1,5 мкг/кг – для охратоксина-А; 2 мкг/кг – для суммы афлатоксинов В1, В1, G1, G2; 20 мкг/кг – для зеараленона и Т-2 токсина; 70 мкг/кг – для дезоксиниваленола). Уровни ПДК, которые отражены в ветеринарно-санитарных требованиях Таможенного союза (утверждены решением Комиссии Таможенного союза ЕвроАзЭС от 18.06.2010 № 317), регламентируют содержание микотоксинов в таких кормах, как пшеница, ячмень, овес, кукуруза, соя и другие, обходя вниманием сочные и грубые. Значения уровней ПДК для вышеперечисленных культур не имеют существенных различий, поэтому мы в своей работе руководствовались данными нормами, а также нормами значения ПДК для микотоксинов, рекомендованными Зерновой ассоциацией стран Евросоюза (RIDA News, III/01).

Лабораторные исследования проводили в ЦКП «Центр сельскохозяйственных исследований и биотехнологий» ФГБУН ВолНЦ РАН. Расчет концентраций выполняли в программном обеспечении производителя аналитических наборов, где учтены все количественные аспекты подготовки пробы. Проведение ИФА осуществляли в двух-трехкратной аналитической повторности для каждого образца корма, что сопровождалось двукратным чтением оптических плотностей в лунках планшета, дальнейшую обработку результатов выполняли в Microsoft Excel.

**Результаты и их обсуждение.** Ежегодно сельскохозяйственные предприятия сталкиваются с серьезными экономическими потерями из-за поражения кормов растительного происхождения микотоксинами. Например, снижение молочной продуктивности и проблемы со здоровьем у коров могут привести к ежедневным потерям с одного животного до 250 рублей (до 100 тысяч рублей в год), даже при отсутствии явных симптомов микотоксикозов [27].

В работе определены следующие токсины, возможные для изучения в рамках исследования: группа афлатоксинов (афлатоксины В1, В2, G1, G2); охратоксин-А; зеараленон; дезоксиниваленон; Т-2 токсин.

Указанные токсины, согласно имеющимся зарубежным и отечественным исследованиям, составляют основу комплекса микотоксинов, обнаруживаемых в кормах. Данные токсины являются объектами строгого контроля и состав-

ляют основную массу выявляемых поражений продукции сельского хозяйства. Важно, что для данных токсинов доступны точные стандартизированные методики, позволяющие открывать их в исследуемых образцах с высокой точностью и стабильностью.

Всего за 2022–2024 гг. проведено 509 исследований, в том числе на содержание суммы афлатоксинов – 155 анализов, охратоксина-А – 132, зеараленона – 105, дезоксиниваленола (ДОН) – 89, Т-2 токсина – 28 анализов.

Результаты анализов показали, что 99 % изученных образцов в той или иной мере заражены микотоксинами: все анализируемые образцы афлатоксинами и зеараленоном; 97 % – охратоксином-А; менее трети образцов – ДОН.

На рисунке 1 представлена доля образцов, зараженных микотоксинами в количествах, превышающих ПДК.

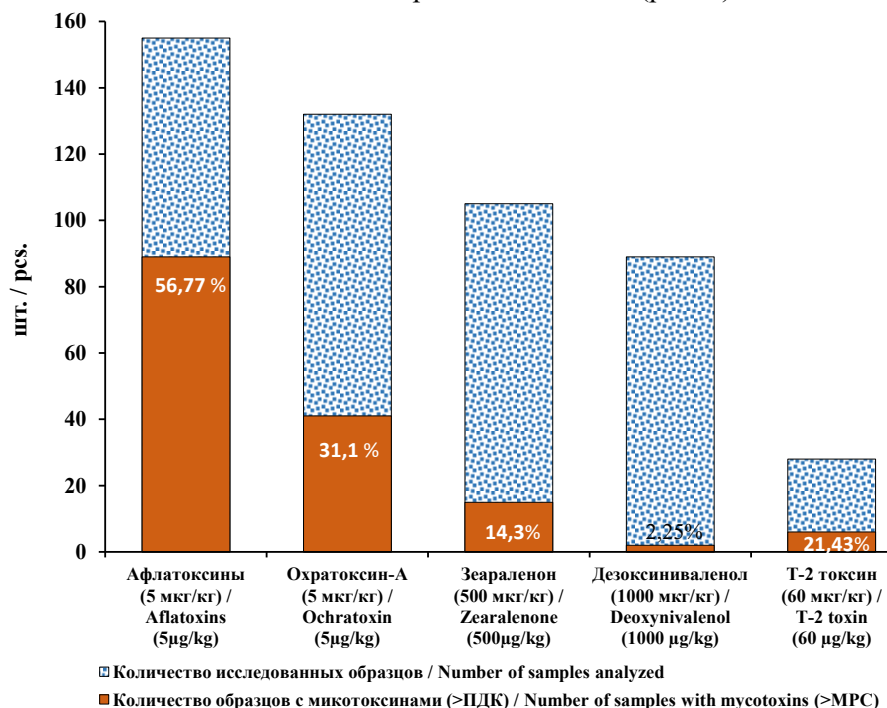
При проведении работы установлено, что практически все изученные образцы зерна, зеленой массы и сенажа содержат микотоксины ниже уровня ПДК. Так, в образцах зерна среднее содержание охратоксина-А составило 0,93 мкг/кг, зеараленона – 86,89 мкг/кг, Т-2 токсина – 7,83 мкг/кг. В зеленой массе среднее содержание суммы афлатоксинов установлено на уровне 2,47 мкг/кг, охратоксина-А – 2,82 мкг/кг, зеараленона – 68,94 мкг/кг. В образцах сена содержание суммы афлатоксинов и охратоксина-А также ниже уровня ПДК (2,73 и 0,64 мкг/кг соответственно). Однако в этих образцах наблюдали довольно высокое содержание метаболитов грибов *Fusarium* и *Gibberella*, среднее зеараленона – 228,41 мкг/кг, существенно выше ПДК Т-2 токсина – 554,05 мкг/кг.

Исследование образцов силоса показало, что данный вид корма более подвержен контаминации микотоксинами. Высокая степень зараженности силоса возможно связана с характером использования сельскохозяйственных площадей: без регулярной механической обработки почвы и смены выращиваемых культур плесневые грибы широко распространяются в почве и гарантированно поражают любой выращиваемый материал. Это хорошо соотносится с тем, что основная часть площадей, с которых собирается материал для заготовки кормов, представлена многолетними травами, образующими искусственные многолетние луга.

Анализ ряда образцов злаково-бобового силоса, сходных по условиям заготовки и хранения (отбор проб проводили в одном хозяйстве

в разные сроки после заготовки) показал, что как минимум два токсина (афлатоксины и зеараленон) активно накапливаются по мере

увеличения срока хранения. Содержание охратоксина-А в тот же период, напротив, несколько снижается (рис. 2).



**Рис. 1. Доля образцов заготавливаемых кормов, содержащих микотоксины в количествах, превышающих ПДК (указана в скобках) /**

**Fig.1. Proportion of fodder samples containing mycotoxins in amounts exceeding maximum allowable concentration (indicated in brackets)**

Поскольку все исследуемые токсины представляют из себя вещества, неустойчивые к действию окислителей, для поддержания уровня их содержания должны быть уравновешены два процесса: продукция токсинов плесневыми грибами и деградация микотоксинов под действием внешних факторов (кислорода, воды, прочих веществ). Естественно предположить, что в случаях, когда количество токсина по мере увеличения периода хранения растет, продуцент развивается в объеме растительной массы, следовательно растет и продукция токсина. В случае же уменьшения содержания токсина рост и распространение продуцента сначала угнетается, а далее и вовсе может происходить его выпадение из данной экосистемы.

Так как в процессе хранения снижается содержание охратоксина-А, можно предположить, что его основной продуцент – *Aspergillus ochraceus* – со временем угнетается и погибает, останавливая продукцию токсина. Возможные причины: во-первых, *A. ochraceus* полностью расходует весь доступный субстрат, что представляется маловероятным ввиду фактической субстратной идентичности другим аспергиллам, в том числе и продуцентам афлаток-

синов; во-вторых, в массе субстрата (силосуемого растительного материала) создаются неблагоприятные условия для *A. ochraceus* (в частности, формируется отличная от оптимальной кислотность среды, в которой появляются органические кислоты), вследствие чего продуцент полностью исчезает из состава микрофлоры; в-третьих, можно предположить, имея ввиду сущность микотоксинов, как одного из факторов, обеспечивающих конкурентные преимущества их продуцентам, что различные грибы одного рода *Aspergillus* могут конкурировать между собой, вытесняя чувствительный к афлатоксинам *A. ochraceus*.

Однако, как видно из рисунка 2, динамика изменения количества токсинов имеет разное направление, хотя следует отметить, что при увеличении содержания афлатоксинов и зеараленона за указанный период в 6,8 и 2,9 раза соответственно содержание охратоксина-А снизилось всего лишь на 10,5 %. Таким образом, полной деконтаминации естественным путем в отношении охратоксина-А не происходит, а при показанной динамике этот микотоксин будет оставаться в заготовленном корме на протяжении всего периода его использования.



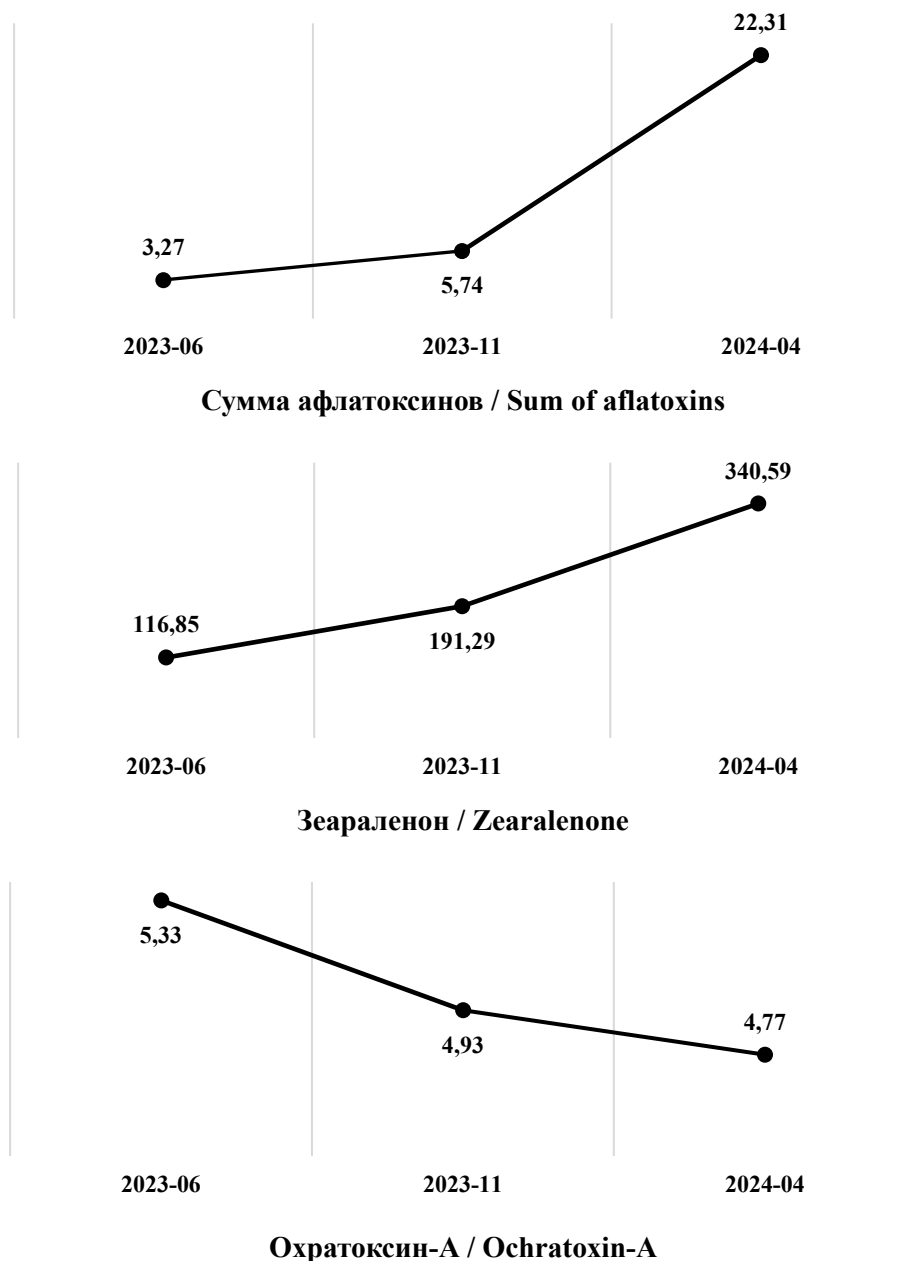


Рис. 2. Содержание суммы афлатоксинов, зеараленона и охратоксина-А ( $\mu\text{г/кг}$ ) в злаково-бобовом силосе в зависимости от сезона отбора пробы (период с июня 2023 г. по апрель 2024 г. /

Fig. 2. Contents of sum of aflatoxins, zearalenone and ochratoxin-A ( $\mu\text{g/kg}$ ) in cereal-legume silage in dependence on the season of sampling (the period from June 2023 to April 2024)

Силос – основная форма заготавливаемых кормов всеми без исключения предприятиями Вологодской области, и по этой причине является важным объектом для изучения. Силосы могут быть использованы как в качестве самостоятельного корма, так и входить в состав различных кормосмесей. Прочие формы кормов используются реже или в качестве добавок к силосам. Технология подготовки силосов создает условия, максимально благоприятные для развития различных плесневых грибов, поэтому

этот вид корма довольно часто загрязнен различными микотоксинами [28, 29].

Нами были исследованы силосы различных составов по признаку преобладания того или иного компонента (или нескольких компонентов), заготавливаемых на территории Вологодской области. Весь исходный материал для подготовки силосов выращивался предприятиями сельского хозяйства области самостоятельно, при этом применялась сходная агротехника, способы уборки и его заготовки.

Практически повсеместно распространены три подхода к возделыванию трав для последующего силосования. Первый – использование естественных фитоценозов (луга) с соответствующим видовым составом (такие силосы называются разнотравными и обычно с указанием типа фитоценоза, например – луговой разнотравный). В эту категорию входят луга всех типов. Второй – возделывание многолетних травянистых растений, первоначально высеваемых искусственно. В качестве таких растений используются различные многолетние злаки (тимopheвка луговая, овсяница луговая, райграсы, кострецы и др.), бобовые (люцерна, клевер, люпины, козлятник и др.) и их смеси в различном соотношении (с преобладанием злаков силосы обозначаются как злаково-бобовые, с преобладанием бобовых – бобово-злаковые). Третий – однолетние искусственно высеваемые травянистые растения, которые обычно возделываются в условиях севооборота и чаще имеют более высокую урожайность, нежели многолетние культуры.

Следует отметить, что при ежегодном, а часто и неоднократном скашивании в естественных фитоценозах происходит изменение видового состава в сторону его обеднения и преобладания растений, устойчивых к регулярному скашиванию (к которым относятся злаки и бобовые, например различные виды клевера). Фактически через некоторое время видовой состав таких фитоценозов начинает приближаться к видовому составу многолетних агроценозов, сформированных злаковыми и бобовыми культурами. Сокращение видового разнообразия, в свою очередь, создает благоприятную среду для развития плесневых грибов. Если в целом для самого фитоценоза плесневые грибы не представляют какой-либо угрозы, являясь эффективными редуцентами и утилизируя отмирающие органические остатки, то для сельского хозяйства такие изменения оборачиваются ростом зараженности заготавливаемых кормов.

Результаты исследования силосов различного состава на предмет содержания пяти контролируемых микотоксинов представлены в таблице.

*Table – Среднее содержание микотоксинов в силосе разного состава (мкг/кг) /  
Table – Average content of mycotoxins in silages of different composition (µg/kg)*

<i>Состав силоса / Silage composition</i>	<i>Сумма афлатоксинов / Sum of aflatoxins</i>	<i>Охратоксин-А / Ochratoxin-A</i>	<i>Зеараленон / Zearalenone</i>	<i>Дезоксиниваленол / Deoxynivalenol</i>	<i>T-2 токсин / T-2 toxin</i>
	<i>ПДК / Maximum Allowable Concentration</i>				
	5	5	500	1000	60
Бобово-злаковый / Legume-grass	<i>13,24*</i>	4,51	170,03	71,0	33,50
Бобовый / Leguminous	20,57	5,70	329,80	Ниже предела обнаружения / Below detection limit	43,40
Злаково-бобовый / Legume-legume	10,57	3,87	187,72		25,80
Злаковый / Cereal	20,79	6,27	161,35	150,0	32,40
Разнотравный / Divergent grass	19,70	4,45	184,50	89,0	33,50
Прочие силосы / Other silages	7,66	4,29	151,60	110,1	37,27

*\*Курсивом выделено содержание микотоксинов, превышающее ПДК /  
\*The content of mycotoxins exceeding MAC is highlighted in italics*

Отметим, что микотоксинами наиболее поражаются моновидовые силосы. Суммарно по пяти исследованным токсинам наиболее зараженными являются бобовые и злаковые моновидовые силосы – оба преимущественно

афлатоксинами (содержание остальных микотоксинов не превышает ПДК). В меньшей степени заражены разнотравные силосы, однако и в них преобладающими токсинами являются афлатоксины.

**Заключение.** За последние десятилетия проблема предотвращения или минимизации последствий контаминации микотоксинами кормов обратила на себя более пристальное внимание ветеринарных врачей, зоотехников и администрации животноводческих хозяйств, но они не в полном объеме представляют степень существующей угрозы. Далеко не всегда правильно оценивают потенциальные риски, возникающие в результате использования зараженных кормов, все еще относительно редко проводят исследования кормов на предмет содержания микотоксинов превентивно, ограничиваясь во многих случаях их определением уже после выявления признаков микотоксикозов.

В проведенном нами микотоксикологическом мониторинге различных видов кормов, заготавливаемых хозяйствами Вологодской области, показано, что практически все исследу-

емые корма для КРС содержат микотоксины в той или иной степени, причем значительная часть образцов подвержена контаминации двумя и более микотоксинами. В связи с тем, что образцы зеленой массы содержат незначительное количество микотоксинов, а в образцах заготавливаемого корма их содержание существенно выше, можно предположить, что основной объем продукции микотоксинов происходит в процессе заготовки и хранения корма.

Относительно равномерная зараженность исследованных образцов позволяет прогнозировать как композицию контаминантов, так и степень зараженности ими заготавливаемых кормов, что необходимо учитывать соответствующим специалистам животноводческих предприятий области при разработке мер и мероприятий, направленных на профилактику микотоксикозов.

#### *Список литературы*

1. Артамонов И. В. Микотоксины фитопатогенных грибов и микотоксикозы: исторический очерк (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(5):703–719. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.703-719> EDN: NFIYLU
2. Khoury C. K., Bjorkman A. D., Dempewolf H., Ramirez-Villegas Ju., Guarino L., Jarvis A., Rieseberg L., Struik P. C. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(11):4001–4006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
3. Максимов Т. П., Кудряшов А. А. Мониторинг распространенности микотоксинов в кормовом сырье РФ в 2023 году. *Свиноводство*. 2024;(3):20–22. DOI: <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2024-3-20-22> EDN: GXJFOS
4. Соколова О. Н., Солдатова В. В., Лаптев Г. Ю. Мониторинг микотоксинов в кормовом травостое Ленинградской области и влияние микотоксинов на продукцию животноводства. *Научное обеспечение развития АПК в условиях импортозамещения: сб. научн. тр. Международ. научн.-практ. конф. профессорско-преподавательского состава «Научное обеспечение развития сельского хозяйства и снижение технологических рисков в продовольственной сфере»: в 2-частях*. Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский ГАУ, 2017. Т. Часть I. С. 134–138. Режим доступа: <https://elibrary.ru/ykizpv> EDN: YKJZPV
5. Ефанова Л. И., Манжурина О. А., Моргунова В. И., Адодина М. И., Фролова Т. С., Степанов А. В. Контаминированность микотоксинами кормов для крупного рогатого скота в хозяйствах Центрально-черноземной зоны. *Достижения науки и техники АПК*. 2012;(1):25–27. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17666174> EDN: OWRPHYH
6. Буркин А. А., Кононенко Г. П., Гаврилова О. П., Гагкаева Т. Ю. Микотоксины в бобовых травах естественных кормовых угодий европейской России. *Сельскохозяйственная биология*. 2017;52(2):409–417. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.2.409rus> EDN: YMFVON
7. Нода И. Б., Дорофеева Л. Л., Пономарев В. А. Качество и питательная ценность кормов в хозяйствах Ивановской области. *Мир Инноваций*. 2015;1–4:117–124. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30017184> EDN: ZGWNET
8. Минхаеров Р. Р. Контаминированность почвы и сельскохозяйственной продукции, произведенной в Закамской техногенной зоне тяжелыми металлами и микотоксинами. *Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана*. 2015;222(2):145–149. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23766657> EDN: UACFTX
9. Потехина Р. М., Семенов Э. И., Матросова Л. Е., Папуниди К. Х. Микологическая статистика загрязненности кормов по отдельным районам Поволжья. *Вестник Марийского государственного университета*. Серия: Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2019;5(2(18)):197–203. DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-2-197-203> EDN: CUIPDW
10. Былгаева А. А. Меры профилактики плесневения и образования микотоксинов в кормах для животных. *Тенденции развития науки и образования*. 2022;(84-6):135–137. DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-04-2022-280> EDN: SQGUGG
11. Бурменская Г. А., Титова С. П. Анализ качества грубых кормов растительного происхождения. *Современные проблемы в животноводстве: состояние, решения, перспективы: сб. ст. по мат.-лам II Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 90-летию акад. В. Г. Рядчикова*. Краснодар: Кубанский ГАУ им. И. Т. Трубилина, 2024. С. 570–574. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63614715&pff=1> EDN: EOVIWI

12. Кононенко Г. П., Буркин А. А. О контаминации микотоксинами сенажа и силоса в животноводческих хозяйствах. Сельскохозяйственная биология. 2014;49(6):116–122.  
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.116rus> EDN: TEPGFZ
13. Буркин А. А., Кононенко Г. П. Контаминация микотоксинами луговых трав в европейской части России. Сельскохозяйственная биология. 2015;50(4):503–512. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.4.503rus> EDN: UGDSJN
14. Авраменко М. В., Сазонова Е. А. Влияние сочетанного действия микотоксинов и смешанной инфекции на организм крупного и мелкого рогатого скота. Ветеринария и кормление. 2024;(2):4–7.  
DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-2-1> EDN: NOIPLW
15. Герунов Т. В., Герунова Л. К., Симонова И. А., Крючек Я. О. Сочетанное поражение кормов микотоксинами как фактор риска множественной патологии животных. Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022;(4(48)):116–123. DOI: [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2022\\_4\\_116](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_4_116) EDN: SEWUZU
16. Omotayo O. P., Omotayo A. O., Mwanza M., Babalola O. O. Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. Toxicological research. 2019;35(1):1–7. DOI: <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
17. Лаптев Г. Ю., Новикова Н. И., Ильина Л. А., Йылдырым Е. А., Солдатова В. В., Никонов И. Н., Филиппова В. А., Бражник Е. А., Соколова О. Н. Динамика накопления микотоксинов в силосе на разных этапах хранения. Сельскохозяйственная биология. 2014;49(6):123–130. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.123rus> EDN: TEPGGJ
18. Камінська О. В., Марченко Т. В., Кирик М. М., Шевченко Л. В. Сезонна динаміка накопичення мікотоксинів у зерні кукурудзи. Біоресурси і природопольовання. 2020;12(1-2):47–55.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43961478> EDN: CLLHRJ
19. Монастырский О. А., Свирелис Л. В. Роль циркадных ритмов токсинообразования грибов рода фузариум в динамике накопления микотоксинов в хранящемся зерне разных сортов злаковых культур Биологическая защита растений – основа стабилизации агроэкосистем: мат-лы докл. Международ. научн.-практ. конф., посвящ. 75-летию РАСХН. Краснодар: Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений РАСХН, 2004. Т. Вып. 2. С. 382–389.
20. Солдатова В. В., Йылдырым Е. А., Ильина Л. А., Никонов И. Н., Филиппова В. А., Дубровин А. В., Бражник Е. А., Соколова О. В., Новикова Н. И., Лаптев Г. Ю. Почему высокопродуктивные коровы восприимчивы к микотоксинам? Сельскохозяйственные вести. 2015;(4):28–31.  
Режим доступа: <https://agri-news.ru/zhurnal/2015/42015/pochemu-vyisokoproduktivnyie-korovy-vospriimchivyi-k-mikotoksinaim/?ysclid=m41fk4e6gq310418274>
21. Гнездилова Л. А., Федотов С. В. Влияние микотоксинов на репродуктивные показатели лактирующих коров в условиях интенсивного производства. Актуальные проблемы ветеринарной медицины, зоотехнии, биотехнологии и экспертизы сырья и продуктов животного происхождения: сб. тр. 2-й Научн.-практ. конф. Под общ. ред. С. В. Полябина, Л. А. Гнездиловой. М.: Сельскохозяйственные технологии, 2023. С. 129–130.  
Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54255258> EDN: QJMXMU
22. Гуныко М. В., Сазонова Е. А., Авраменко А. С. Микотоксины в кормах для животных. Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022;(102):249–253. DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-102-249-253> EDN: DMWPUQ
23. Дорожкин В. И., Герунов Т. В., Симонова И. А., Герунова Л. К., Крючек Я. О., Тарасенко А. А., Чигринский Е. А. Микотоксинологический мониторинг кормов и его роль в профилактике микотоксикозов животных. Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2022;17(4):546–554. DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-4-546-554> EDN: CSQROK
24. Кононенко Г. П., Буркин А. А. Токсины микромицетов в генеративных органах растений семейства *Fabaceae*. Сельскохозяйственная биология. 2021;56(5):968–978.  
DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.5.968rus> EDN: BYNFQY
25. Платонов А. В., Ерегина С. В., Рассохина И. И., Артамонов И. В. Контаминация микотоксинами силоса, заготавливаемого животноводческими хозяйствами Вологодской области. Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023;53(12):45–53. DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-12-5> EDN: VDPOIA
26. Нетычук С. С., Бабунова В. С., Осипова И. С., Попов П. А. Проблемы отбора образцов грубых кормов при контроле содержания микотоксинов. Труды Всероссийского НИИ экспериментальной ветеринарии имени Я. Р. Коваленко. 2023; 83(1): 256–261. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54525292> EDN: HEEOND
27. Йылдырым Е. А., Ильина Л. А., Филиппова В. А., Новикова Н. И., Лаптев Г. Ю., Тюрина Д. Г., Солдатова В. В. Изучение распространения микотоксинов в фуражном травостое и консервированных кормах. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019;(3(100)):99–107. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10191> EDN: JISCEB
28. Biscoto G. L., Salvato L. A., Alvarenga É. R., Dias R. R. S., Pinheiro G. R. G., Rodrigues M. P., et al. Mycotoxins in Cattle Feed and Feed Ingredients in Brazil: A Five-Year Survey. Toxins. 2022;14(8):552.  
DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14080552>
29. Vaičiulienė G., Bakutis B., Jovaišienė J., Falkauskas R., Gerulis G., Kerzienė S., Baliukonienė V. Prevalence of Mycotoxins and Endotoxins in Total Mixed Rations and Different Types of Ensiled Forages for Dairy Cows in Lithuania. Toxins. 2021;13(12):890. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13120890>

*References*

1. Artamonov I. V. Mycotoxins of phytopathogenic fungi and mycotoxicosis: a historical essay (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2023;24(5):703–719. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.5.703-719>
2. Khoury C. K., Bjorkman A. D., Dempewolf H., Ramirez-Villegas Ju., Guarino L., Jarvis A., Rieseberg L., Struik P. C. Increasing homogeneity in global food supplies and the implications for food security. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2014;111(11):4001–4006. DOI: <https://doi.org/10.1073/pnas.1313490111>
3. Maksimov T. P., Kudryashov A. A. Monitoring the prevalence of mycotoxins in feed commodity of Russia in 2023. *Svinovodstvo*. 2024;(3):20–22. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37925/0039-713X-2024-3-20-22>
4. Sokolova O. N., Soldatova V. V., Laptev G. Yu. Monitoring of mycotoxins in the fodder grass of the Leningrad region and the effect of mycotoxins on livestock products. Scientific support for the development of agriculture in the context of import substitution: collection of scientific articles of the International scientific-practical conference of the faculty "Scientific support for agricultural development and reduction of technological risks in the food sector": in 2 parts. Saint-Petersburg: *Sankt-Peterburgskiy GAU*, 2017. Vol. Part I. pp. 134–138. URL: <https://elibrary.ru/ykizpv>
5. Efanova L. I., Manzhurina O. A., Morgunova V. I., Adodina M. I., Frolova T. S., Stepanov A. V. Contamination mycotoxins forages for a horned cattle in economy Central Chernozem region. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK* = Achievements of Science and Technology of AICis. 2012;(1):25–27. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17666174>
6. Burkin A. A., Kononenko G. P., Gavrilova O. P., Gagkaeva T. Yu. Mycotoxins in the legumes of natural fodder of the European Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2017;52(2):409–417. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.2.409rus>
7. Noda I. B., Dorofeeva L. L., Ponomarev V. A. The quality and nutritional value of feed in the farms of the Ivanovo region. *Mir Innovatsiy* = World of innovation. 2015;1–4:117–124. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=30017184>
8. Minkhaerov R. R. Contamination of agricultural products produced in the technological zakamsk region by heavy metals and mycotoxins. *Uchenye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsiny im. N. E. Baumana* = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2015;222(2):145–149. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23766657>
9. Potekhina R. M., Semenov E. I., Matrosova L. E., Papunidi K. Kh. Mycological statistics of feed contamination in certain areas of the Volga region. *Vestnik Mariyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Sel'skokhozyaystvennye nauki. Ekonomicheskie nauki* = Vestnik of the Mari State University Chapter «Agriculture. Economics». 2019;5(2(18)):197–203. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30914/2411-9687-2019-5-2-197-203>
10. Bylgaeva A. A. Measures to prevent mold formation and mycotoxin formation in animal feed. *Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya*. 2022;(84-6):135–137. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18411/trnio-04-2022-280>
11. Burmenskaya G. A., Titova S. P. Analysis of the quality of coarse feed of plant origin. Modern problems in animal husbandry: state, solutions, prospects: collection of articles on the II International scientific and practical conf., devoted to the 90th anniversary of Academician V. G. Ryadchikov. Krasnodar: *Kubanskiy GAU im. I. T. Trubilina*, 2024. pp. 570–574. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=63614715&pf=1>
12. Kononenko G. P., Burkin A. A. Mycotoxin contaminations in commercially used haylage and silage. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2014;49(6):116–122. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.116rus>
13. Burkin A. A., Kononenko G. P. Mycotoxin contamination of meadow grasses in European Russia. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2015;50(4):503–512. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2015.4.503rus>
14. Avramenko M. V., Sazonova E. A. The effect of the combined action of mycotoxins and mixed infection on the body of large and small cattle. *Veterinariya i kormlenie*. 2024;(2):4–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30917/ATT-VK-1814-9588-2024-2-1>
15. Gerunov T. V., Gerunova L. K., Simonova I. A., Kryuchek Ya. O. Combined damage to feed by mycotoxins as a risk factor for development of multiple pathologies in animals. *Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = Vestnik of Omsk SAU. 2022;(4(48)):116–123. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.48136/2222-0364\\_2022\\_4\\_116](https://doi.org/10.48136/2222-0364_2022_4_116)
16. Omotayo O. P., Omotayo A. O., Mwanza M., Babalola O. O. Prevalence of mycotoxins and their consequences on human health. *Toxicological research*. 2019;35(1):1–7. DOI: <https://doi.org/10.5487/TR.2019.35.1.001>
17. Laptev G. Yu., Novikova N. I., Il'ina L. A., Yyldyrym E. A., Soldatova V. V., Nikonov I. N., Filippova V. A., Brazhnik E. A., Sokolova O. N. Dynamics of mycotoxin accumulation in silage during storage. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2014;49(6):123–130. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2014.6.123rus>
18. Kamins'ka O. V., Marchenko T. V., Kirik M. M., Shevchenko L. V. Seasonal dynamics of mycotoxin accumulation in corn grain. *Bioresursy i prirodopol'zovanie*. 2020;12(1-2):47–55. (In Ukraine). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=43961478>
19. Monastyrskiy O. A., Svirelis L. V. The role of circadian rhythms of toxin formation of fungi of the genus *Fusarium* in the dynamics of mycotoxin accumulation in stored grain of different varieties of cereals Biological plant protection is the basis for the stabilization of agroecosystems: Proceedings of the International. scientific and practical conf., dedicated to the 75th anniversary of RASKHN. Krasnodar: *Vserossiyskiy nauchno-issledovatel'skiy institut zashchity rasteniy RASKHN*, 2004. Vol. Iss. 2. pp. 382–389.



20. Soldatova V. V., Yildirim E. A., Ilyina L. A., Nikonov I. N., Filippova V. A., Dubrovin A. V., Brazhnik E. A., Sokolova O. V., Novikova N. I., Laptev G. Yu. Why are highly productive cows susceptible to mycotoxins? *Sel'skhozaystvennyye vesti*. 2015;(4):28–31. (In Russ.). URL: <https://agri-news.ru/zhurnal/2015/42015/pochemu-vyisokoproduktivnyie-korovyi-vospriimchivi-k-mikotoksinam/?ysclid=m41fk4e6gg310418274>
21. Gnezdilova L. A., Fedotov S. V. The effect of mycotoxins on the reproductive performance of lactating cows in conditions of intensive production. Actual problems of veterinary medicine, animal science, biotechnology and expertise of raw materials and products of animal origin: Collection of articles of the 2nd scientific and practical conf. *Pod obshch. red. S. V. Pozyabina, L. A. Gnezdilovoy*. Moscow: *Sel'skhozaystvennyye tekhnologii*, 2023. pp. 129–130. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54255258>
22. Gun'ko M. V., Sazonova E. A., Avramenko A. S. Mycotoxins in animal feed. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2022;(102):249–253. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21515/1999-1703-102-249-253>
23. Dorozhkin V. I., Gerunov T. V., Simonova I. A., Gerunova L. K., Kryuchek Ya. O., Tarasenko A. A., Chigrinskiy E. A. Mycotoxological monitoring of feed and its role in prevention of animal mycotoxicoses. *Vestnik Rossiyskogo universiteta druzhby narodov. Seriya: Agronomiya i zhivotnovodstvo* = RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries. 2022;17(4):546–554. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.22363/2312-797X-2022-17-4-546-554>
24. Kononenko G. P., Burkin A. A. Toxins of micromycetes in generative organs of plants of the family *Fabaceae*. *Sel'skhozaystvennaya biologiya* = Agricultural Biology. 2021;56(5):968–978. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2021.5.968rus>
25. Platonov A. V., Eregina S. V., Rassokhina I. I., Artamonov I. V. Mycotoxin contamination of silage harvested by livestock farms in the Vologda region. *Sibirskiy vestnik sel'skhozaystvennoy nauki* = Siberian Herald of Agricultural Science. 2023;53(12):45–53. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-12-5>
26. Netychuk S. S., Babunova V. S., Osipova I. S., Popov P. A. Problems of coarse feed samplings in the control of mycotoxin content. *Trudy Vserossiyskogo NII eksperimental'noy veterinarii imeni Ya. R. Kovalenko*. 2023;83(1):256–261. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54525292>
27. Yildirim E. A., Ilyina L. A., Filippova V. A., Novikova N. I., Laptev G. Yu., Tyurina D. G., Soldatova V. V. Studying the spread of mycotoxins in feed grass and silages. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;(3(100)):99–107. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10191>
28. Biscoto G. L., Salvato L. A., Alvarenga É. R., Dias R. R. S., Pinheiro G. R. G., Rodrigues M. P., et al. Mycotoxins in Cattle Feed and Feed Ingredients in Brazil: A Five-Year Survey. *Toxins*. 2022;14(8):552. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins14080552>
29. Vaičiulienė G., Bakutis B., Jovaišienė J., Falkauskas R., Gerulis G., Kerzienė S., Baliukonienė V. Prevalence of Mycotoxins and Endotoxins in Total Mixed Rations and Different Types of Ensiled Forages for Dairy Cows in Lithuania. *Toxins*. 2021;13(12):890. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxins13120890>

#### **Сведения об авторах**

**Платонов Андрей Викторович**, кандидат биол. наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Горького, д. 56-а, г. Вологда, Вологодская обл., Российская Федерация, 160014, e-mail: [common@volnc.ru](mailto:common@volnc.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

✉ **Ерегина Светлана Викторовна**, кандидат геогр. наук, старший научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Горького, д. 56-а, г. Вологда, Вологодская обл., Российская Федерация, 160014, e-mail: [common@volnc.ru](mailto:common@volnc.ru),  
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8136-4663>, e-mail: [ereginasv@mail.ru](mailto:ereginasv@mail.ru)

**Артамонов Иван Владимирович**, научный сотрудник лаборатории биоэкономики и устойчивого развития, ФГБУН «Вологодский научный центр Российской академии наук», ул. Горького, д. 56 -а, г. Вологда, Вологодская обл., Российская Федерация, 160014, e-mail: [common@volnc.ru](mailto:common@volnc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6387-4886>

#### **Information about the authors**

**Andrey V. Platonov**, PhD in Biology, associate professor, leading researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of Russian Academy of Sciences, Gorky st., Vologda region, Russian Federation, 160014, e-mail: [common@volnc.ru](mailto:common@volnc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1110-7116>

✉ **Svetlana V. Eregina**, PhD in Geography, senior researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of Russian Academy of Sciences, Gorky st., Vologda region, Russian Federation, 160014, e-mail: [common@volnc.ru](mailto:common@volnc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8136-4663>, e-mail: [ereginasv@mail.ru](mailto:ereginasv@mail.ru)

**Ivan V. Artamonov**, researcher, the Laboratory of Bioeconomics and Sustainable Development, Vologda Research Center of Russian Academy of Sciences, Gorky st., Vologda region, Russian Federation, 160014, e-mail: [common@volnc.ru](mailto:common@volnc.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6387-4886>

✉ – Для контактов / Corresponding author

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146>

УДК 636.92:582.263

**Влияние добавок нитчатой зелёной водоросли *Cladophora* в рацион кроликов на показатели крови**© 2024. Н. В. Шадрин<sup>1</sup>, П. С. Остапчук<sup>1,2</sup>✉, Т. А. Кувейда<sup>1,2</sup>, А. В. Празукин<sup>1</sup>, Ю. К. Фирсов<sup>1</sup>, Д. Д. Гассиев<sup>1</sup>, Д. В. Зубоченко<sup>2</sup>, Е. В. Ануфриева<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», г. Севастополь, Российская Федерация,<sup>2</sup>ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», г. Симферополь, Российская Федерация

Крым – йододефицитный регион, поэтому кормление кроликов кормами, обогащёнными йодом, является необходимым условием в обеспечении их нормальной жизнедеятельности и продуктивности на фермах. Использование водорослей с высоким содержанием йода и других ценных компонентов из солёных водоёмов может помочь в решении данной проблемы. Нитчатую зелёную водоросль *Cladophora* собирали в крымском гиперсолёном озере, затем получали из неё гранулы, которые использовали в экспериментах на молоди кроликов. В 2024 г. изучали влияние добавок кладофоры в рацион молодняка кроликов калифорнийской породы, начиная с возраста после отъёма и до достижения убойной массы 2,5–2,8 кг. Было сформировано три опытные и одна контрольная группы по 10 животных в каждой. В опытных группах кроликам в рацион добавляли 1 %, 0,5 % и 0,25 % кладофоры, которая привела к достоверным изменениям в биохимическом составе сыворотки крови: повысилась концентрация уреазы и альфа-амилазы на 36,7 и 50,4 % ( $p = 0,01$ ) соответственно. Увеличение альфа-амилазы достоверно прямо пропорционально величине добавки ( $p = 0,001$ ). Достоверно увеличилось содержание общего протеина и альбумина ( $p = 0,001–0,01$ ), количество эритроцитов и лейкоцитов было в пределах нормы и достоверно увеличилось ( $p = 0,05$ ). Достоверно увеличился и тромбокрит ( $p = 0,05–0,001$ ). Полученные данные показали, что при добавках кладофоры в рацион кроликов все характеристики крови не выходили за известные пределы нормы, при этом в ряде из них произошли положительные изменения. Происходит интенсификация обменных процессов и почечных ферментов. Полученные результаты, как и опубликованные ранее данные, показали, что включение *Cladophora* в рацион кроликов может быть эффективной кормовой добавкой, улучшающей их физиологическое состояние и повышающей иммунитет.

**Ключевые слова:** кормовые добавки, биохимические показатели крови, молодняк кроликов, физиологическое состояние

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Шадрин Н. В., Остапчук П. С., Кувейда Т. А., Празукин А. В., Фирсов Ю. К., Гассиев Д. Д., Зубоченко Д. В., Ануфриева Е. В. Влияние добавок нитчатой зелёной водоросли *Cladophora* в рацион кроликов на показатели крови. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1137–1146.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146>

Поступила: 18.06.2024

Принята к публикации: 21.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

**The effect of adding filamentous green algae *Cladophora* to the diet of rabbits on their blood parameters**© 2024. Nickolai V. Shadrin<sup>1</sup>, Pavel S. Ostapchuk<sup>1,2</sup>✉, Tatyana A. Kuevda<sup>1,2</sup>, Alexander V. Prazukin<sup>1</sup>, Yuri K. Firsov<sup>1</sup>, Danil D. Gassiev<sup>1</sup>, Denis V. Zubochenko<sup>2</sup>, Elena V. Anufriieva<sup>1</sup><sup>1</sup>A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, Sevastopol, Russian Federation<sup>2</sup>Research Institute of Agriculture of Crimea, Simferopol, Russian Federation

Crimea is an iodine-deficient region, so feeding rabbits with iodine-enriched feed is a necessary condition for ensuring their normal functioning and productivity on farms. The use of algae from saline water bodies high in iodine and other valuable components can help solve this problem. The filamentous green alga *Cladophora* was collected from a Crimean hypersaline lake, and then granules were obtained from it. They were used in experiments on young rabbits. In 2024 there was studied the effect of *Cladophora* supplements in the diet of young rabbits of the Californian breed, from the age after weaning until

reaching a slaughter weight of 2.5–2.8 kg. Three experimental and one control group of rabbits were formed (10 animals each). In the experimental groups, 1 %, 0.5 or 0.25 % of *Cladophora* were added to the diet of rabbits. The supplements have led to significant changes in the biochemical composition of blood serum: the concentration of urease and alpha-amylase increased by 36.7 and 50.4 % ( $p = 0.01$ ), respectively. The increase in alpha-amylase was significantly directly proportional to the amount of supplementation ( $p = 0.001$ ). The content of total protein and albumin increased significantly ( $p = 0.001–0.01$ ). Within normal limits, the content of erythrocytes and leukocytes increased significantly ( $p = 0.05$ ). Thrombocrit also increased significantly ( $p =$  from 0.05 to 0.001). The data obtained showed that when *Cladophora* was added to the diet of rabbits, all characteristics of its blood did not go beyond the known normal limits, while positive changes occurred in a number of them. There is an intensification of metabolic processes and kidney enzymes. The results obtained as well as published data have shown that adding *Cladophora* to the diet of rabbits can be an effective feed additive that improves their physiological condition and enhances immunity.

**Keywords:** feed additives, biochemical parameters of blood, young rabbits, physiological state

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

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

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

**For citations:** Shadrin N. V., Ostapchuk P. S., Kuevda T. A., Prazukin A. V., Firsov Yu. K., Gassiev D. D., Zubochenko D. V., Anufrieva E. V. The effect of adding filamentous green algae *Cladophora* to the diet of rabbits on their blood parameters. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1137–1146. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1137-1146>

Received: 18.06.2024

Accepted for publication: 21.11.2024

Published online: 25.12.2024

В настоящее время растущее человечество сталкивается с двумя жизненно важными задачами – это преодоление нехватки пресной воды и полноценной пищи. Сельскохозяйственное производство и ресурсы пресной воды неразрывно взаимосвязаны и влияют друг на друга во всем мире [1]. По данным ФАО, на сельское хозяйство приходится около 70 % общего потребления пресной воды [2]. Мировое животноводство использует около 75 % всех сельскохозяйственных угодий и около 30 % мирового потребления воды [1]. Население планеты растёт, и сельскохозяйственное производство должно увеличиться на 70–100 %, чтобы удовлетворить мировой спрос на продовольствие в 2050 году [3]. Чтобы устойчиво увеличить потребление мясных продуктов в мире, производители животноводческой продукции должны решить несколько задач, основные из которых (1) сократить использование пресной воды и пахотных земель для производства кормов и кормовых добавок и (2) повысить продуктивность и рождаемость сельскохозяйственных животных, а также снизить их смертность из-за болезней.

В большинстве стран дефицит полноценных кормов колеблется от 10 до 25 % [4]. При этом не менее 95 % потребляемых кормов – это зерновые культуры, что способствует росту дефицита пресной воды и уничтожению природных экосистем. Дефицит белка в кормах, а также ряда важнейших веществ и элементов, отрицательно влияет на иммунитет и выживаемость молоди в животноводстве [5]. Необходимое увеличение производства мяса в живот-

новодстве можно обеспечить за счёт устойчивой интенсификации без значительного увеличения использования земли и воды, с расширением спектра используемых биоресурсов [6]. Биомасса многих гидробионтов, в том числе зелёных водорослей, содержит наборы ценных компонент, которые при добавке в корма могут способствовать нормальному развитию молоди животных, формированию хорошего иммунитета к различным заболеваниям [7, 8]. Преодолеть противоречие между решением продовольственной проблемы и растущей нехваткой природных ресурсов, прежде всего пресной воды, возможно за счёт приоритетного использования биоресурсов солёных и гиперсолёных вод [8, 9]. Одним из самых перспективных объектов для использования в кормопроизводстве являются нитчатые зелёные водоросли рода кладофора [8, 10].

Водоросли рода *Cladophora* широко распространены в водоёмах с разной солёностью от пресных до гиперсолёных, создавая в них огромную продукцию [7, 10]. Например, в гиперсолёных озерах и лагунах Крыма они занимают большие площади и формируют мощные донные и плавучие маты с высокой биомассой более 5 кг/м<sup>2</sup> [7, 10]. Продуктивность природных популяций *Cladophora* spp. очень высока и может достигать 5,4 мг/г/ч [10], водоросль легко культивировать. Положительные результаты по использованию добавок кладофоры в корма различных животных получены в разных странах, но не в России [10]. В биомассе кладофоры имеются ценные для животных компоненты, например, незаменимые

аминокислоты, ненасыщенные жирные кислоты, витамины, каротиноиды и микроэлементы – йод, селен, цинк и т. д. [7, 10]. Содержание этих элементов в водорослях из морских вод существенно больше, чем из пресных, поэтому традиционно в ряде стран их используют в качестве минеральных добавок для сельскохозяйственных животных [7, 10]. Крым – йододефицитный регион [11], поэтому кормление кормами, обогащёнными йодом, является важным звеном в обеспечении нормальной жизнедеятельности и продуктивности кроликов на фермах Крыма [12, 13]. Зелёные водоросли из солёных и гиперсолёных вод содержат в своей биомассе высокие концентрации йода [14], значит их добавки в рацион могут обогащать его этим элементом [14, 15]. В йододефицитных районах потребление мяса животных, рацион которых содержал водоросли, помогает преодолеть дефицит йода и у людей [15].

В настоящее время кролиководство – одна из наиболее прибыльных и развитых отраслей в мировом животноводстве, в России годовая продукция кроличьего мяса составляет примерно 15 тысяч тонн [16]. Мясо кролика, содержащее ценные компоненты, является доступным продуктом, содержит больше белка и меньше жира, а частичная замена им говядины и/или свинины приведет к снижению выброса парниковых газов животноводческой отраслью [17]. Продукцию мяса кроликов в стране можно существенно увеличить и, как показано ранее, этого можно достичь, в том числе и за счёт введения в их рацион зелёных многоклеточных водорослей [16, 18]. Ранее изучали только влияние на кроликов кладофоры из пресных вод и получили положительный результат [18]. Химический состав водорослей из пресных и гиперсолёных вод имеет существенные различия [7], а, следовательно, может различаться и их эффект воздействия на кроликов. Поэтому кролики и выбраны в качестве первого тест-объекта для кормовых добавок из кладофоры гиперсолёных водоёмов. В качестве индикаторов использовали показатели крови, которые хорошо характеризуют физиологическое состояние животных [19].

**Цель исследования** – изучить влияние добавки в рацион молодняка кроликов гранул зелёной нитчатой водоросли *Cladophora* в разной концентрации на состояние показателей крови.

**Научная новизна** – впервые изучено влияние кладофоры из гиперсолёных вод на характеристики крови кроликов. Наличие кладофоры в рационе улучшило биохимические

и гематологические показатели, следовательно, она может быть эффективной кормовой добавкой, улучшающей физиологическое состояние и повышающей иммунитет кроликов.

**Материал и методы.** Для получения гранул биомассу нитчатой зелёной водоросли *Cladophora* вручную собирали в крымском гиперсолёном озере Ярылгач в июне 2023 г., где она достигает высоких показателей развития. Через 1–2 часа после сбора биомассу промывали пресной водой до полного удаления солей, освобождали от эпифитов и подсушивали в тени при температуре 25 °С. Подсушенную массу помещали в сушильный шкаф ШС-80 МК СПУ (Россия) (температура 45 °С) и сушили до влажности не выше 20 %, после этого полученную сухую массу подвергали размолу на режущей мельнице Вилитек VLM (Россия). Затем с использованием мини-гранулятора ZLSP-120B (Россия) из порошка кладофоры получали гранулы диаметром 4 мм, которые добавляли в рацион кроликов.

Изучали влияние добавок кладофоры в рацион молодняка кроликов калифорнийской породы, начиная с возраста 41 день (отъём от матери) и до достижения убойной массы 2,5–2,8 кг (возраст 3 месяца). Было сформировано три опытные и одна контрольная группы кроликов по 10 животных в каждой. Кормление осуществляли один раз в день полнорационными комбикормами (ПЗК-94) следующего состава: пшеница, кукуруза, рыбная мука, жмых соевый, жмых подсолнечный, монокальций-фосфат, лизин, метионин, треонин, БВМД, травяная мука, кокцидиостатик, мел кормовой. В опытные группы кроликов в рацион добавляли разное количество гранул кладофоры:

I – контрольная – основной рацион (ОР).

II – опытная – ОР 99,0 % + 1,0 % гранул *Cladophora*.

III – опытная – ОР 99,5 % + 0,5 % гранул *Cladophora*.

IV – опытная – ОР 99,75 % + 0,25 % гранул *Cladophora*.

Изучаемые кормовые смеси давали ежедневно. Поение – с помощью nippleных поилок. Животных содержали в стандартных промышленных клетках по 3–4 головы в каждой, с учётом пола размер клеток позволяет обеспечить не менее 0,12 м<sup>2</sup> на голову. Помещение оборудовано вытяжной вентиляцией. Эксперимент проводили в период с марта по май 2024 г. на базе Отделения полевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» Красногвардейского района Республики Крым (с. Клепинино).



Кровь молодняка кроликов изучали в клинико-диагностической лаборатории Отделения полевых культур ФГБУН «НИИСХ Крыма» (с. Клепинино). Кровь у молодняка кроликов брали утром натошак из периферических сосудов уха (в две вакуумные пробирки: для гематологии – в пробирку с К2ЭДТА; для изучения сыворотки крови – в пробирку с активатором свёртываемости крови)<sup>1</sup>. Биохимические исследования сыворотки крови (по 3 головы молодняка каждой группы) включали следующие позиции: общий белок (г/л); альбумин (г/л); глюкоза (ммоль/л); АлАТ (ед./л); АсАТ (ед./л); щелочная фосфатаза (ед./л); креатинин (ммоль/л); уреазы (ммоль/л);  $\alpha$ -амилаза (ед./л); калий (ммоль/л); фосфор (ммоль/л). Образцы крови центрифугировали с целью отделения сыворотки. Для определения биохимических показателей сыворотки крови использовали автоматический биохимический анализатор Vitalab Flexor E (Нидерланды) и реагенты фирмы ДиаВетТест (Россия).

Гематологические исследования (по 5 голов молодняка каждой группы) включали следующие позиции: лейкоцитарная формула определена по содержанию лейкоцитов (WBC,  $10^9/L$ ), лимфоцитов (LYM, %; LYM#  $10^9/L$ ), средних лейкоцитов (MID, %; MID#  $10^9/L$ ) и нейтрофилов (NEUT, %; NEUT#  $10^9/L$ ); эритроцитарная характеристика представлена показателями содержания эритроцитов (RBC,  $10^9/L$ ), гемоглобина (HGB, g/dL), гематокрита (HCT, %), объёма эритроцита (MCV, fL), содержанием (MCH, pg) и концентрацией (MCHC, g/dL) эритроцитов в крови, шириной (RDW-SD, fL) и процентом (RDW-CV, %) распределения эритроцитов в крови; динамика формирования гемостаза изучена по следующим параметрам: содержание тромбоцитов (PLT,  $10^9/L$ ); средний объём тромбоцитов (MPV, fL); индекс распределения эритроцитов (PDW, %), тромбокрит (PCT, %) и содержание крупных тромбоцитов в крови (P-LCR, %). Для определения элементов крови использовали автоматический гематологический анализатор BioBase BK-6180 (Китай) и реагенты фирмы ДиаВетТест (Россия).

Все данные были подвергнуты стандартной статистической обработке с использо-

ванием программы Excel. Достоверность различий средних определяли по критерию t-Стьюдента, а уровни значимости (p) различий средних величин и коэффициентов корреляции (R) по таблицам.

**Результаты и их обсуждение.** Добавка кладофоры в рацион кроликов привела к достоверным изменениям в биохимическом составе сыворотки крови (табл. 1). Отмечена достоверно повышенная концентрация уреазы и  $\alpha$ -амилазы у кроликов второй группы на 36,7 и 50,4 % ( $p = 0,01$ ) соответственно. Достоверное увеличение в сравнении с контролем сохраняется и по содержанию  $\alpha$ -амилазы у животных третьей группы на 26,5 % ( $p = 0,01$ ) и повышенный уровень щелочной фосфатазы на 47,9 % ( $p = 0,05$ ). Увеличение  $\alpha$ -амилазы достоверно прямо пропорционально величине добавки, что можно описать ( $R = 0,992$ ,  $p = 0,001$ ):

$$A = 193,1 + 91,66 D, \quad (1)$$

где A – содержание альфа-амилазы, ед./л., D – величина добавки кладофоры, % от общего рациона.

Содержание белковых фракций сыворотки крови животных второй и третьей опытных групп следующее: общего протеина и альбумина превышает контроль на 14,3 и 5,5 % ( $p = 0,001$ ) соответственно, а третьей – лишь по общему белку на 10,6 % ( $p = 0,01$ ). Содержание фосфора, калия, креатинина и глюкозы в крови у всех групп было в пределах нормы и не имело достоверных отличий (табл. 1). Динамика АлАТ, АсАТ и щелочной фосфатазы тенденциозна, разница не является достоверной.

Таким образом, интенсификация белкового обмена связана с оптимальным приспособлением пищеварительной функции к поеданию корма в условиях опыта, а положительная корреляция с ферментами выделительной системы свидетельствует о приспособлении последней к интенсивным процессам организма с нормальными характеристиками выделения. Вместе с тем, ферменты переаминирования практически не отличаются у опытных групп в сравнении с контрольной, что свидетельствует о дополнительном защитном воздействии на печень в процессе опыта. В таблице 2 представлены гематологические показатели крови молодняка кролей.

<sup>1</sup>Ковалёнок Ю. К., Курдеко А. П., Великанов В. В., Ульянов А. Г., Демидович А. П., Курилович А. М., Напреенко А. В. Взятие крови у животных: учебно-методическое пособие для студентов учреждений высшего образования. Витебск: ВГАВМ, 2019. 32 с. URL: <https://repo.vsavm.by/bitstream/123456789/9332/1/m-2019-24-2.pdf>



Таблица 1 – Биохимические показатели сыворотки крови у молодняка кроликов, получавших в корм разные концентрации добавки *Cladophora* (n = 3) /

Table 1 – Biochemical parameters of blood serum in young rabbits receiving different concentrations of *Cladophora* supplements in feed (n = 3)

Показатель / Parameter	Контроль / Reference group		1,0 % ввода / 1,0 % of supplement		0,5 % ввода / 0,5 % of supplement		0,25 % ввода / 0,25 % of supplement	
	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %
АлАТ / Alanine transaminase	59,90±2,65	7,7	56,73 ±7,19	22,0	58,13 ±8,16	24,3	71,37 ±4,75	11,5
АсАТ / Aspartate transaminase	74,77±12,65	29,3	62,23 ±8,40	23,4	65,77 ±9,73	25,6	65,60 ±5,02	13,3
Уреаза / Urease	6,63±0,35	9,2	9,07±0,54**	10,2	6,33 ±0,24	6,6	7,63 ±0,52	11,9
Альфа-амилаза / Alpha-amylase	188,33±10,35	9,5	283,33±22,04**	13,5	238,33 ±9,39 <sup>2</sup>	6,8	222,67±44,43	34,6
Щелочная фосфатаза / Alkaline phosphatase	119,67±15,30	22,1	142,00±11,27	13,7	177,00±19,14 <sup>1</sup>	18,7	169,67 ±25,83	26,4
Фосфор / Phosphorus	2,15 ±0,02	1,2	2,20±0,11	8,3	2,14 ±0,05	4,4	2,18 ±0,04	1,7
Креатинин / Creatinine	74,93±2,12	4,9	72,51 ±3,74	8,9	65,74 ±3,79	10,0	67,13 ±3,11	8,0
Калий / Potassium	5,37±0,12	3,9	5,50 ±0,31	9,6	5,30 ±0,06	1,9	5,20 ±0,12	3,8
Глюкоза / Glucose	4,33±0,33	13,3	4,67 ±0,33	12,4	4,73 ±0,64	23,3	4,67 ±0,33	12,4
Белок общий / Total protein	42,30±0,95	3,9	48,33±0,43***	1,6	46,77 ±1,17**	4,3	46,30 ±2,24	8,4
Альбумин / Albumin	42,73±0,43	1,8	45,07±0,07***	0,3	44,07 ±1,60	6,3	42,93 ±1,00	4,0

Примечания: Референтные значения биохимических показателей сыворотки крови молодняка кролей: общий белок (г/л) – 50–75, альбумин (г/л) – 27–50, глюкоза (ммоль/л) – 4,1–8,5, АлАТ (ед./л) – 25–65, АсАТ (ед./л) – 20–120, щелочная фосфатаза (ед./л) – 10–86, креатинин (ммоль/л) – 44–220 [20]. Уровни статистической достоверности: \* p = 0,05; \*\* p = 0,01; \*\*\* p = 0,001 /

Notes: Reference values of biochemical parameters of blood serum of young rabbits: total protein (g/l) – 50–75, albumin (g/l) – 27–50, glucose (mmol/l) – 4.1–8.5, alanine aminotransferase (units /l) – 25–65, aspartate aminotransferase (units /L) – 20–120, alkaline phosphatase (units /L) – 10–86, creatinine (mmol/l) – 44–220 [20]. Levels of statistical confidence: \* p = 0.05; \*\* p = 0.01; \*\*\* p = 0.001

В опытных группах происходит незначительное увеличение лейкоцитов, при этом достоверная разница ( $p = 0,05$ ) отмечена у молодняка второй группы – на  $1,26 \times 10^9$  ед./л, или на 20,1 %. Норма содержания лейкоцитов находится в пределах от  $3,3$  до  $12,2 \times 10^9$  ед./л [19], во всех случаях величины не выходили за эти пределы. Увеличение лейкоцитов связано с активным формированием гуморального иммунитета, который посредством выработки антител влияет на клеточный иммунитет в целом. Нейтрофилы, обладающие бактерицидной и дезинтоксикационной функциями, имеют незначительную вариабельность, разница которых между группами не имеет достоверных отличий, содержание данных элементов колеблется в пределах от 38,3 до 42,0 %. Аналогичная закономерность сохраняется и по другим элементам лейкоцитарной формулы – лимфоцитов и средних лейкоцитов (табл. 2).

Лейкоцитарная формула изменялась при добавке кладофоры. Достоверного влияния добавок кладофоры на количество лимфоцитов, средних лейкоцитов и нейтрофилов

не отмечено. Содержание лейкоцитов (WBC) в группах, получавших кладофору, выше, чем в контрольной. Различие между группами с максимальной добавкой и контрольной достоверно ( $p = 0,05$ ).

Отмечена достоверная связь между размером добавки и WBC, которую можно описать нелинейным регрессионным уравнением ( $R = 0,992$ ,  $p = 0,025$ ):

$$WBC = 7,51 + 0,26 \ln (D), \quad (2)$$

где WBC – содержание лейкоцитов,  $10^9$ /л.

Эритроцитарная популяция также изменялась при получении добавок кладофоры. Содержание эритроцитов достоверно ( $p = 0,05$ ) увеличилось у группы кроликов, получавшей 1,0 % добавки кладофоры, наблюдали и по содержанию гемоглобина, увеличение достоверно при добавках 1,0 % ( $p = 0,001$ ) и 0,5 % ( $p = 0,05$ ). Повышение количества гемоглобина было достоверно прямо пропорционально величине добавки ( $R = 0,999$ ,  $p = 0,0005$ ):

$$HGB = 6,44 + 0,57 D, \quad (3)$$

где HGB – содержание гемоглобина, g/dL.

Таблица 2 – Гематологические показатели крови у молодняка кроликов, получавших в корм разные концентрации добавки *Cladophora* (n = 5)

Table 2 – Hematological blood parameters in young rabbits fed with different concentrations of additives of *Cladophora* supplements in feed (n = 5)

Показатель / Parameter	Контроль / Reference group		1 % ввода / 1 % of supplement		0,5 % ввода / 0.5 % of supplement		0,25 % ввода / 0.25 % of supplement	
	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %	$\bar{X} \pm m_x$	CV, %
WBC	6,28±0,46	16,3	7,54±0,19*	5,8	7,36±0,62	18,7	7,14±0,68	21,4
LYM %	53,32±3,41	14,3	53,26±0,90	3,8	50,40±1,88	8,3	54,16±0,81	3,3
MID %	7,58±0,52	15,4	6,92±0,54	17,4	7,62±0,25	7,2	7,52±0,34	10,2
NEUT %	39,10±2,90	16,6	39,82±1,04	5,9	41,98±2,00	10,6	38,32±0,73	4,3
LYM#	3,35±0,35	23,3	4,01±0,10	5,4	3,70±0,29	17,8	3,85±0,34	19,5
MID#	0,47±0,04	20,9	0,52±0,04	17,8	0,56±0,04	17,5	0,54±0,06	24,6
NEUT#	2,46±0,26	23,9	3,01±0,13	9,8	3,10±0,35	25,6	2,75±0,30	24,3
RBC	6,35±0,22	7,7	7,01±0,20*	6,3	6,64±0,27	9,1	6,75±0,09	3,1
HGB	10,78±0,63	13,1	14,38±0,50***	7,8	12,56±0,70*	12,4	11,54±0,75	14,6
HCT	27,52±2,01	16,3	32,30±0,93*	6,4	29,36±2,00	15,2	29,66±1,86	14,0
MCV	57,04 ±1,57	6,2	62,64±1,37 <sup>1</sup>	4,9	54,10±4,19	17,3	56,98±3,66	14,4
MCH	20,12±0,38	4,2	22,66±1,08*	10,6	20,92±1,58	16,9	20,52±0,64	7,0
MCHC	35,06±0,50	3,2	36,74±0,52*	3,2	36,36±0,45*	2,8	34,66±0,28	1,8
RDW-SD	32,70±0,74	5,0	32,62±0,81	5,6	33,00±0,59	4,0	33,14±0,76	5,1
RDW-CV	12,50±0,21	3,8	14,44±0,37***	5,7	14,88±0,68***	10,2	13,14±0,60	10,2
PLT	278,60±22,87	18,4	370,00±28,08*	17,0	303,40±24,52	18,1	297,40±24,85	18,7
MPV	8,70±0,21	5,3	8,74±0,13	3,4	8,26±0,49	13,3	9,24±0,56	13,6
PDW	10,54±0,68	14,5	11,06±0,76	15,4	10,58±0,77	16,3	11,10±0,68	13,6
PCT	0,24±0,02	16,0	0,32±0,01***	7,8	0,29 ±0,01**	4,6	0,24±0,01	8,8
P-LCR	17,82±1,93	24,2	22,52±1,76	17,5	20,44±1,36	14,9	20,78±0,63	6,8

Примечания: Референтные значения гематологических показателей крови молодняка кролей: лейкоцитов (10<sup>9</sup>/L) – 5–12,5; эритроцитов (10<sup>9</sup>/L) – 5–8; гемоглобина (g/dL) – 10–17; гематокрита (%) – 33–50; объема эритроцита (fL) – 58–67; тромбоцитов (10<sup>9</sup>/L) – 2,5–6,5<sup>2</sup>. Уровни статистической достоверности: \* – p = 0,05; \*\* – p = 0,01; \*\*\* – p = 0,001 /

Notes: Reference values of hematological blood parameters of young rabbits: WBC, 10<sup>9</sup>/L: 5-12.5; RBC, 10<sup>9</sup>/L: 5-8, HGB, g/dL: 10-17; HCT, %: 33-50; MCV, %: 30-40; MCV, fL: 58-67; PLT, 10<sup>9</sup>/L: 2.5-6.5<sup>2</sup>. Levels of statistical confidence: \* – p = 0,05; \*\* – p = 0,01; \*\*\* – p = 0,001

Изменялись и другие характеристики популяции эритроцитов (табл. 1). Количество эритроцитов во второй группе достоверно повысилось на 10,3 % (или в единицах на 0,65×10<sup>12</sup>/л). Отмечено достоверное повышение гемоглобина во второй и третьей группах на 3,60 г/л (p = 0,001) и 1,78 г/л (p = 0,05) соответственно. Также во второй опытной группе достоверное превышение отмечено по содержанию гематокрита – на 4,78 % (p = 0,05), объёму эритроцитов – на 5,60 фл/мл (p = 0,05),

содержанию гемоглобина в эритроците – на 2,54 пг (p = 0,05), концентрации гемоглобина в эритроците – на 1,68 г/л (p = 0,05) и процентам распределения эритроцитов по размеру – на 1,94 % (p = 0,001). В третьей опытной группе эритроцитарная характеристика достоверно выше лишь по содержанию гемоглобина, концентрации гемоглобина в эритроците и процентам распределения эритроцитов по размеру на 1,78 г/л (p = 0,05), 1,30 г/л (p = 0,05) и 2,38 % (p = 0,001) соответственно.

<sup>2</sup>Полозюк О. Н., Ушакова Т. М. Гематология: учебное пособие. Персиановский: Донской ГАУ, 2019. 159 с.

Эритроцитарная характеристика крови опытных групп свидетельствует о том, что практически все показатели были в норме: увеличение эритроцитов положительно сопряжено с содержанием гемоглобина, а повышение гематокрита связано с объёмом красных кровяных клеток в крови. Распределение эритроцитов по размеру также имеет тенденцию к увеличению почти во всех опытных группах, но находится в пределах референтных значений.

Динамика формирования гемостаза также менялась. Прямо пропорционально величине добавки достоверно увеличивалось количество тромбоцитов ( $R = 0,968$ ,  $p = 0,001$ ):

$$PLT = 272,8 + 90,4 D, \quad (4)$$

где PLT – содержание тромбоцитов,  $10^9/\text{л}$ .

Достоверно увеличивался и тромбоцит ( $p = 0,05-0,001$ ), остальные показатели достоверно не менялись. Внутренний гемостаз свидетельствует о снижении, в целом, содержания тромбоцитов на фоне достоверного формирования более крупных тромбоцитов у животных второй группы (разница с контрольными аналогами составляет  $91,4 \times 10^9/\text{л}$  ( $p = 0,05$ ). Увеличение тромбоцитов во второй и третьей группах на 0,09 % ( $p = 0,001$ ) и 0,06 % ( $p = 0,01$ ) свидетельствует о формировании оптимальной системы свёртываемости крови.

Полученные данные показали, что при добавках кладофоры в рацион кроликов все характеристики крови не выходили за пределы нормы [19], при этом в ряде из них произошли положительные изменения. Более высокий уровень уреазы и альфа-амилазы ферментов в сыворотке крови молодняка кроликов, получавших кладофору, свидетельствует об интенсификации обменных процессов, происходит интенсификация почечных ферментов, что говорит об оптимальном формировании системы фильтрации из сыворотки крови отработанных субстанций и их успешное выведение из организма через почки.

На фоне достоверного увеличения лейкоцитов у молодых кроликов опытной группы на 20,1 % отмечено формирование нейтрофилов в пределах 38,3–42,0 %, обладающих бактерицидной и дезинтоксикационной функциями, что говорит о формировании гуморального иммунитета, который посредством выработки антител влияет на клеточный иммунитет в целом. Эритроцитарная характеристика крови опытных групп свидетельствует о том,

что практически все показатели были в норме: увеличение эритроцитов коррелирует положительно с содержанием гемоглобина, а повышение гематокрита связано с объёмом красных кровяных клеток в крови. Распределение эритроцитов по размеру также имеет положительную тенденцию в опытных группах и находится в пределах референтных значений.

Снижение в целом содержания тромбоцитов на фоне достоверного формирования более крупных тромбоцитов у животных является показателем хорошего внутреннего гемостаза. Увеличение тромбоцитов в опытных группах обеспечивает формирование оптимальной системы свёртываемости крови. Ранее уже отмечено, что введение в корма кроликов кладофоры ведёт к снижению индекса тромбогенности, что потенциально способствует предотвращению сердечных заболеваний [18].

Таким образом, формируется такой гемостаз крови, элементы которого обеспечивают нормальное течение крови в русле и беспрепятственный перенос питательных веществ и кислорода в организме кроликов на фоне интенсификации гуморального иммунитета.

У животных опытных групп увеличено содержание общего протеина на 14,3 %, в том числе альбумина – на 5,5 % ( $p = 0,001$ ), что свидетельствует о приспособлении пищеварительной функции к поеданию корма в условиях опыта, а положительная сопряженность с ферментами выделительной системы связана с приспособлением последней к интенсивным процессам организма с нормальными характеристиками выделения. Подобные результаты получены и ранее [18].

Полученные результаты, как и опубликованные исследования, показали, что добавление *Cladophora* в рацион кроликов может быть эффективной кормовой добавкой, улучшающей их физиологическое состояние и повышающей иммунитет [16, 18]. В процессе введения добавки кладофоры в рацион кроликов выявлено, что наибольший положительный эффект на показатели крови был отмечен при добавке 1,0 % от основного рациона, максимальной в проведённых экспериментах. В опытах других авторов при использовании зелёных макроводорослей, включая кладофору, из пресных и морских вод, в которых солёность ниже, чем в гиперсолёных, установлено, что максимальный положительный эффект наблюдали при добавках от 2,0 до 5,0 % общего

рациона [16, 18]. Можно предположить, что и при использовании кладофоры из гиперсолёных водоёмов максимальный положительный эффект получим при добавке более 1,0 % рациона, в пределах 2–3 %, но это предмет для дальнейших исследований.

**Заключение.** Добавка зеленой водоросли *Cladophora* в рацион молодняку кроликов способна улучшить физиологическое состояние животных и их иммунитет: повысился уровень уреазы и альфа-амилазы на 36,7 % ( $p = 0,01$ ) и 50,4 % ( $p = 0,01$ ) у особей опытной группы, получавших 1,0 % кладофоры основного рациона. При этом увеличение альфа-амилазы достоверно сопряжено положительно с увеличением концентрации добавки ( $p = 0,001$ ). Достоверно увеличилось содержание общего

протеина и альбумина на 14,3 % ( $p = 0,001$ ) и 5,5 % ( $p = 0,001$ ), а в группе, получавшей 0,25 % добавки, разница отмечена лишь по общему белку на 10,6 % в сравнении с контрольной группой ( $p = 0,01$ ). Содержание эритроцитов и лейкоцитов было в пределах нормы и достоверно увеличивалось в опытной группе кроликов, получавших 1,0 % добавки на  $0,65 \times 10^{12}/л$  в популяции эритроцитов ( $p = 0,05$ ). Достоверно увеличился и тромбокрит на 0,06–0,09 % ( $p = 0,05...0,001$ ) у молодняка опытных групп.

**Перспективы дальнейших исследований.** Оптимальные добавки кладофоры из гиперсолёных водоёмов в рацион кроликов находятся в пределах от 1,0 до 5,0 % общего рациона. Необходимы исследования для уточнения этой величины.

### References

1. Liu X., Liu W., Tang Q., Liu B., Wada Y., Yang H. Global agricultural water scarcity assessment incorporating blue and green water availability under future climate change. *Earth's Future*. 2022;10(4):e2021EF002567. DOI: <https://doi.org/10.1029/2021EF002567>
2. FAO. The state of world fisheries and aquaculture 2016. Contributing to food security and nutrition for all. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Italy, Rome: 2016. 200 p. URL: <https://www.fao.org/3/I5555E/i5555e.pdf>
3. World Bank. World development report 2008. Agriculture for Development. Washington, DC, 2007. 390 p. DOI: <https://doi.org/10.1596/978-0-8213-6807-7>
4. Cordeiro M. R., Mengistu G. F., Pogue S. J., Legesse G., Gunte K. E., Taylor A. M., et al. Assessing feed security for beef production within livestock-intensive regions. *Agricultural Systems*. 2022;196:103348. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103348>
5. Wu G. Nutrition and metabolism: foundations for animal growth, development, reproduction, and health. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 2022;1354:1–24. DOI: [https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-030-85686-1_1)
6. Dawson I. K., Attwood S. J., Park S. E., Jamnadas R., Powell W., Sunderland T., et al. Contributions of biodiversity to the sustainable intensification of food production. Thematic study for The State of the World's Biodiversity for Food and Agriculture. FAO, Rome, 2019. pp. 23–37. URL: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/229138c2-f17f-43ae-a15a-1b73a45e7277/content>
7. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Is biomass of filamentous green algae *Cladophora* spp. (Chlorophyta, Ulvophyceae) an unlimited cheap and valuable resource for medicine and pharmacology? A review. *Reviews in Aquaculture*. 2020;12(4):2493–2510. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12454>
8. Costa M., Cardoso C., Afonso C., Bandarra N. M., Prates J. A. Current knowledge and future perspectives of the use of seaweeds for livestock production and meat quality: a systematic review. *The Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2021;105(6):1075–1102. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.13509>
9. Anufrieva E. V. How can saline and hypersaline lakes contribute to aquaculture development? A review. *Journal of Oceanology and Limnology*. 2018;36:2002–2009. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00343-018-7306-3>
10. Prazukin A. V., Anufrieva E. V., Shadrin N. V. Biomass of *Cladophora* (Chlorophyta, Cladophorales) is a promising resource for agriculture with high benefits for economics and the environment. *Aquaculture International*. 2024;23(3):3637–3673. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10499-023-01342-x>
11. Иванов С. В., Гук М. Г., Фазылова Ф. Р., Плиско Е. Ф. Взаимосвязь химического состава почвы и поверхностных вод Республики Крым и их влияние на развитие эндемичных заболеваний. *Центральный научный вестник*. 2018;3(10):15–19. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=34998549> EDN: XOSEAH
12. Karabaeva M. E. The problem of iodine deficiency in animals. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018;2(141):28–29. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32735626> EDN: YUSRIV
13. Karabaeva M. E. The problem of iodine deficiency in animals. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2018;2(141):28–29. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32735626>

13. Zubochenko D., Pashtetsky V., Ostapchuk P., Kuevda T., Zyablitskaya Ye., Makalish T., Kopylova A. Effect of antioxidants in a liposomal form containing organic iodine of the blood serum biochemical composition and the structure of muscle tissue formation of young rabbits. *EE3S Web of Conferences*. 2020;224:04003.

DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202022404003>

14. Mantri V. A., Gajaria T. K., Rathod S. G., Prasad K. A Mini Review on Iodinophyte Seaweed Resources of India. *Proceedings of the National Academy of Sciences, India, Section B: Biological Sciences*. 2024;1–12.

DOI: <https://doi.org/10.1007/s40011-024-01571-x>

15. Ferraz S., Ragonezi C., Nunes N., Valente S., Carvalho M. A. Different seaweeds use for iodine deficiency overcome. *Biomedical – Journal of Scientific & Technical Research*. 2019;15(3):11405–11407.

DOI: <https://doi.org/10.26717/BJSTR.2019.15.002710>

16. Серая О. Ю., Квартникова Е. Г. Нетрадиционные корма для кроликов и домашней птицы. Эффективное животноводство. 2022;(7(182)):108–110. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2022-7-108-110> EDN: ZXITMD

Seraya O. Yu., Kvartnikova E. G. Non-traditional feed for rabbits and poultry. *Effektivnoe zhivotnovodstvo*. 2022;(7(182)):108–110. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-33489-2022-7-108-110>

17. Zamaratskaia G., Havrysh O., Korzeniowska M., Getya A. Potential and limitations of rabbit meat in maintaining food security in Ukraine. *Meat science*. 2023;204:109293. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2023.109293>

18. Nutautaitė M., Racevičiūtė-Stupelienė A., Bliznikas S., Počekvičius A., Vilienė V. River-sourced *Cladophora* glomerata macroalgal biomass as a more sustainable and functional feed raw material for growing rabbits. *Italian Journal of Animal Science*. 2024;23(1):607–617. DOI: <https://doi.org/10.1080/1828051X.2024.2342380>

19. Юшков Б. Г., Корнева Е. А., Черешнев В. А. Понятие нормы в физиологии и патофизиологии. Физиологические константы лабораторных животных. Екатеринбург: УрО РАН, 2021. 864 с.

Режим доступа: <https://elib.usma.ru/handle/usma/4814>

Yushkov B. G., Korneva E. A., Chereshev V. A. The concept of norm in physiology and pathophysiology. *Physiological constants of laboratory animals*. Ekaterinburg: *UrO RAN*, 2021. 864 p.

URL: <https://elib.usma.ru/handle/usma/4814>

20. Войтенко Н. Г., Макарова М. Н., Ковалева М. А. Вариабельность биохимических показателей крови и установление референсных интервалов в доклинических исследованиях. Сообщение 2: кролики. Лабораторные животные для научных исследований. 2020;(2):3–10. DOI: <https://doi.org/10.29296/2618723X-2020-02-01> EDN: SBSUST

Voitenko N. G., Makarova M. N., Kovaleva M. A. Variability of blood biochemical parameters and establishment of reference intervals in preclinical studies. Part 2: rabbit. *Laboratornye zhivotnye dlya nauchnykh issledovaniy* = Laboratory Animals for Science. 2020;(2):3–10. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29296/2618723X-2020-02-01>

#### **Сведения об авторах**

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

✉ **Остапчук Павел Сергеевич**, кандидат с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: [ostapchuk\\_p@niishk.site](mailto:ostapchuk_p@niishk.site)

**Кувейда Татьяна Алексеевна**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник отделения полевых культур, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

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

**Фирсов Юрий Константинович**, кандидат биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0961-7579>

**Гассиев Данил Денисович**, инженер лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru)



**Зубоченко Денис Викторович**, кандидат биол. наук, заместитель директора по производству и внедрению инновационных разработок, ФГБУН «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Крыма», ул. Киевская, д. 150, г. Симферополь, Российская Федерация, 295043, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>

**Ануфриева Елена Валерьевна**, доктор биол. наук, руководитель лаборатории экстремальных экосистем, ФГБУН Федеральный исследовательский центр «Институт биологии южных морей им. А. О. Ковалевского РАН», пр-кт Нахимова, д. 2, г. Севастополь, Российская Федерация, 299011, e-mail: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru),

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6237-7941>

*Information about the authors*

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

✉ **Pavel S. Ostapchuk**, PhD in Agricultural Science, leading researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4054-7145>, e-mail: [ostapchuk\\_p@niishk.site](mailto:ostapchuk_p@niishk.site)

**Tatyana A. Kuevda**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Department of Field Crops, Research Institute of Agriculture of Crimea, 150, Kievskaya str, Simferopol, Russian Federation, 295043, e-mail: [priemnaya@niishk.site](mailto:priemnaya@niishk.site), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0055-8605>

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

**Yuri K. Firsov**, PhD in Biological Science, senior researcher, the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0961-7579>

**Danil D. Gassiev**, engineer, the Laboratory of Extreme Ecosystems, A. O. Kovalevsky Institute of Biology of the Southern Seas of RAS, 2 Nakhimov ave., Sevastopol, Russian Federation, 299011, e-mail: [ibss@ibss-ras.ru](mailto:ibss@ibss-ras.ru)

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

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

✉ – Для контактов / Corresponding author



## Мясная продуктивность и качество мяса бычков чёрно-пёстрой породы, получавших с рационом цинк и селен органической формы

© 2024. А. В. Харламов, А. Н. Фролов✉, В. В. Ильин

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

Одной из главных задач агропромышленного комплекса страны является увеличение производства высококачественной экологически чистой продукции животноводства, в частности мяса говядины. В этой связи необходимо применять меры по эффективному использованию генетических ресурсов как отечественного, так и импортного происхождения, совершенствуя системы кормления, используя при этом кормовые добавки, биологические активные вещества, стимулирующие рост и развитие животных. Цель исследований – определение влияния кормовых добавок Плексомин Zn 26 и Плексомин Se 2000, содержащих в своём составе цинк и селен органической формы, на убойные показатели бычков чёрно-пёстрой породы, а также на качество полученной продукции – мяса говядины. Для проведения исследований 15-месячных бычков чёрно-пёстрой породы разделили на две группы (контрольная и опытная) по 20 голов в каждой, средняя живая масса 328,8–329,3 кг. Продолжительность эксперимента – 91 сутки. Различие заключалось в том, что опытным животным в течение учетного периода в составе концентрированной части рациона скармливали кормовые добавки Плексомин Se 2000 в дозировке 1,2 г/гол/сут и Плексомин Zn 26 в дозировке 1,2 г/гол/сут. Для сравнительной оценки показателей мясной продуктивности и качества мяса бычков, потреблявших рационы с кормовой добавкой и без неё, провели контрольный убой на мясоперерабатывающем предприятии «Оренбев». В результате исследования установлено, что бычки опытной группы превосходили сверстников контрольной по живой массе в конце опыта – на 2,5 % ( $P \leq 0,05$ ), предубойной живой массе – на 2,2 % ( $P \leq 0,05$ ), массе парной туши – 4,5 % ( $P \leq 0,01$ ), массе внутреннего жира – на 22,1 % ( $P \leq 0,05$ ), убойной массе – на 5,2 % ( $P \leq 0,01$ ), убойному выходу – на 1,62 % ( $P \leq 0,05$ ). Мясо бычков опытной группы содержало больше сухого вещества – на 1,35 % ( $P \leq 0,05$ ), жира – на 0,26 % ( $P \leq 0,05$ ), гликогена – на 32,9 % ( $P \leq 0,01$ ), меньше влаги – на 1,3 % ( $P \leq 0,05$ ), оксипролина – на 7,1 % ( $P \leq 0,05$ ) и pH – на 1,92 % ( $P \leq 0,05$ ).

**Ключевые слова:** предубойная живая масса, убойная масса, убойный выход, белок, жир-сырец, триптофан, оксипролин

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук» (тема № FNWZ-2024-0001)

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Харламов А. В., Фролов А. Н., Ильин В. В. Мясная продуктивность и качество мяса бычков чёрно-пёстрой породы, получавших с рационом цинк и селен органической формы. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1147–1155. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1147-1155>

Поступила: 06.08.2024

Принята к публикации: 03.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Meat productivity and beef quality of Black-and-White bulls fed with zinc and selenium in organic form as part of the diet

© 2024. Anatoly V. Kharlamov, Alexei N. Frolov✉, Victor V. Ilyin

Federal Research Center for Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russian Federation

Increasing the production of high quality ecologically pure animal products, especially beef is one of the main tasks of the agro-industrial complex. In this regard, it is necessary to apply measures for the effective use of genetic resources of both domestic and imported origin, improving feeding systems, using feed additives, biological active substances that stimulate the growth and development of animals. The aim of the study was to determine the effect of the feed additives Plexomin Zn 26 and Plexomin Se 2000, containing in its composition zinc and selenium in organic form, on the slaughter parameters of Black-and-White bulls, as well as on the quality of the obtained product - beef. For the research, 15-month-old Black-and-White bulls were divided into two groups (control and experimental) of 20 heads each, average live weight was 328.8–329.3 kg. The experiment lasted 91 days. The difference was that the experimental animals were fed with the feed additives Plexomin Se 2000 at a dosage of 1.2 g/head/day and Plexomin Zn 26 at a dosage of 1.2 g/head/day as part of the concentrated part of the diet during the study period. A control slaughter was carried out at the meat processing plant "Orenbeef" for comparative evaluation of meat productivity and beef quality of bulls fattened with and without feed additive. As a result of the research, it was found out that experimental bulls outperformed their control counterparts in live weight at the end of the experiment by 2.5 % ( $P \leq 0,05$ ), pre-slaughter live weight by 2.2 % ( $P \leq 0,05$ ), fresh carcass weight by 4.5 % ( $P \leq 0,01$ ), internal fat weight by 22.1 % ( $P \leq 0,05$ ), slaughter weight by 5.2 % ( $P \leq 0,01$ ), and slaughter yield by 1.62 % ( $P \leq 0,05$ ). Meat from experimental bulls contained 1.35 % more dry matter ( $P \leq 0,05$ ), 0.26 % more fat ( $P \leq 0,05$ ), 32.9 % more glycogen ( $P \leq 0,01$ ), 1.3 % less moisture ( $P \leq 0,05$ ), 7.1 % more oxyproline ( $P \leq 0,05$ ) and 1.92 % more pH ( $P \leq 0,05$ ).

**Keywords:** Pre-slaughter live weight, slaughter weight, slaughter yield, protein, raw fat, tryptophan, oxyproline

**Acknowledgement:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences (theme no. FNWZ -2024-0001).

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

**For citation:** Kharlamov A. V., Frolov A. N., Ilyin V. V. Meat productivity and beef quality of Black-and-White bulls fed with zinc and selenium in organic form as part of the diet. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1147–1155. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1147-1155>

Поступила: 06.08.2024

Принята к публикации: 03.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

Одной из основных задач сельскохозяйственной науки и практики является разработка мер по обеспечению населения различными видами продовольствия за счет собственного производства. Существенно улучшить структуру питания людей по высокоценным аминокислотам, минеральным веществам и витаминам позволяет мясо-говядина и мясопродукты, получаемые из нее [1, 2]. Решение этой задачи обеспечивается интенсификацией скотоводства путём внедрения прогрессивных технологий [3], более полного использования генетического потенциала мясной продуктивности разводимых пород скота [4, 5, 6], повышения интенсивности роста за счет организации полноценного кормления [7] и создания оптимальных условий содержания животных [8, 9].

Необходимо отметить, что основными путями увеличения объёмов получаемой говядины является полное использование генетического потенциала крупного рогатого скота с учетом его биологических и хозяйственных особенностей. Что касается фактора кормления при производстве говядины, то он является основным и изменение таких показателей, как уровень кормления и его тип дают возможность корректировать внешний вид и телосложение животных, соотношение мышечной, жировой и костной тканей в теле, качественные показатели получаемой говядины. Использование в рационах кормления животных крупного рогатого скота, выращиваемого на мясо, специально приготовленных премиксов и кормовых добавок к конкретному рациону, с учетом региональных особенностей, способствует лучшему усвоению питательных веществ корма, повышению интенсивности роста, мясной продуктивности и качества мяса.

В связи с этим разработка кормовых добавок и оценка их влияния на продуктивные и качественные показатели молодняка крупного рогатого скота при выращивании на мясо является актуальным направлением исследо-

ваний и имеет как научное, так и практическое значение.

**Цель исследования** – дать оценку влияния кормовых добавок, содержащих в своём составе органические формы микроэлементов цинка и селена, на мясную продуктивность и качество мяса бычков чёрно-пёстрой породы.

**Научная новизна** – получение экспериментальных данных для разработки нового способа повышения мясной продуктивности и качества мяса бычков черно-пестрой породы.

**Материал и методы.** Объект исследования – бычки чёрно-пёстрой породы, кровь, туши подопытных бычков, мясо-фарш, длиннейшая мышца спины.

Экспериментальные исследования проводили в соответствии с инструкциями и рекомендациями российских нормативных актов (Приказ Минздрава СССР № 755 от 12.08.1977<sup>1</sup>), протоколами Женевской конвенции и принципами надлежащей лабораторной практики (Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 53434-2009<sup>2</sup>). Все процедуры над животными выполняли в соответствии с правилами Комитета по этике животных ФНЦ БСТ РАН.

При проведении исследований были предприняты все необходимые меры для обеспечения минимума страданий животным и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

**Схема эксперимента.** До проведения контрольного убоя бычков на мясоперерабатывающем предприятии «Оренбив» подопытных животных выращивали в хозяйственно-производственных условиях СПК колхоза им. Кирова Октябрьского района Оренбургской области. Из бычков чёрно-пёстрой породы в возрасте 15 мес. по принципу групп-аналогов (с учётом живой массы и физиологического состояния) были сформированы две группы (контрольная и опытная) по 20 голов в каждой.

<sup>1</sup>Приказ Минздрава СССР от 12.08.1977 №755 «О мерах по дальнейшему совершенствованию организационных форм работы с использованием экспериментальных животных» [Электронный ресурс].

URL: [http://primatologia.ru/images/NII/GLP/3\\_2\\_prikaz\\_minzdrawa\\_o\\_merakh\\_zhiwotnyh.pdf](http://primatologia.ru/images/NII/GLP/3_2_prikaz_minzdrawa_o_merakh_zhiwotnyh.pdf) (дата обращения: 05.07.2024).

<sup>2</sup>ГОСТ Р 53434-2009. Принципы надлежащей лабораторной практики. М.: Стандартинформ, 2010. 16 с.

URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200075972>

Различие заключалось в том, что опытным животным в течение учетного периода в составе концентрированной части рациона скармливали кормовые добавки Плексомин Se 2000 в дозировке 1,2 г/гол/сут и Плексомин Zn 26 – 1,2 г/гол/сут. Продолжительность эксперимента – 91 сутки. Бычки находились на заключительном откорме в помещении на привязи. Рацион кормления был рассчитан на основании рекомендаций «Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных» (2003)<sup>3</sup> для получения среднесуточного прироста 1000–1200 г. Рацион состоял из сена злаково-бобового, силоса кукурузного, комбикорма и кормовой патоки, которые скармливались в виде полувлажной кормосмеси, концентрированные корма составляли 55–58 % по питательности. По завершению заключительного откорма, с целью оценки влияния кормовых добавок на мясную продуктивность и качество мяса, провели контрольный убой всех опытных животных по методике ВАСХНИЛ, ВИЖ и ВНИИМП (1977)<sup>4</sup>. Изучаемые показатели: убойные качества, химический состав средней пробы мякоти туши, химический, аминокислотный и элементный состав длиннейшей мышцы спины в соответствии с методическими рекомендациями ВНИИМС (1984), на осно-

вании полученных данных определяли энергетическую и биологическую ценность мяса.

**Оборудование и технические средства.** Для определения живой массы подопытных бычков использовали платформенные весы «ВСП4-Ж» (Россия). При анализе проб мяса-фарша, длиннейшей мышцы спины использовали: весы лабораторные ВТЛ-150-П; спектрометр атомно-абсорбционный КВАНТ-2АТ; весы лабораторные CE224-С; весы лабораторные Pioneer PA413; хроматограф газовый «Кристалл 2000М».

**Статистическая обработка.** Статистический анализ цифрового материала, полученного в исследовании, проводили с помощью программ Microsoft Excel 2018 и «Statistica 10». Рассчитывали среднюю величину (М) и стандартное отклонение ( $\pm SD$ ), достоверность межгрупповых различий проводили с использованием параметрического метода вариационной статистики критерия Стьюдента. Уровень значимости считали достоверным при  $P \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** Результаты контрольного убоя подопытных бычков свидетельствуют о положительном влиянии скармливания в составе рациона кормовых добавок Плексомин Zn 26 и Плексомин Se 2000 не только на интенсивность роста, но и на выход продуктов убоя (табл. 1).

*Таблица 1 – Результаты контрольного убоя подопытных бычков /*  
*Table 1 – Results of control slaughter of experimental bulls*

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / control (n = 20)	опытная / experimental (n = 20)
Живая масса при снятии с опыта, кг (18 мес.) / Live weight at removal from the experiment, kg (18 months)	438,4 $\pm$ 1,65	449,4 $\pm$ 1,34*
Предубойная живая масса, кг / Pre-slaughter live weight, kg	424,2 $\pm$ 2,48,	433,6 $\pm$ 2,15*
Масса парной туши, кг / Weight of fresh carcass, kg	225,2 $\pm$ 2,31	235,4 $\pm$ 2,62**
Выход туши, % / Carcass yield, %	53,09 $\pm$ 1,5	54,28 $\pm$ 1,9
Масса внутреннего жира, кг / Weight of internal fat, kg	9,35 $\pm$ 0,32	11,42 $\pm$ 0,48*
Выход внутреннего жира, % / Yield of internal fat, %	2,20 $\pm$ 0,14	2,63 $\pm$ 0,17
Убойная масса, кг / Slaughter weight, kg	234,55 $\pm$ 2,81	246,82 $\pm$ 3,03**
Убойный выход, % / Slaughter yield, %	55,30 $\pm$ 0,47	56,92 $\pm$ 0,64*

Примечания: Контрольная группа – рацион без кормовых добавок, опытная – рацион с кормовыми добавками Плексомин Zn 26 и Плексомин Se 2000 (по 1,2 г/гол в сутки); \*при  $P \leq 0,05$ ; \*\* при  $P \leq 0,01$  (по отношению к контрольной группе) /

Notes: Control group – diet without feed additives, experimental - diet with feed additives Plexomin Zn 26 and Plexomin Se 2000 (1.2 g/head/day), \* at  $P \leq 0.05$ ; \*\* at  $P \leq 0.01$  (compared to control group)

<sup>3</sup>Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие. 3-е изд. перераб. и доп. Под ред. А. П. Калашникова, В. И. Фисинина, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. М., 2003. 456 с.

<sup>4</sup>Методические рекомендации по изучению мясной продуктивности и качества мяса крупного рогатого скота (ВАСХНИЛ, ВИЖ, ВНИИМП). Дубровицы: ВИЖ, 1977. 54 с.

Полученные при убое животных данные показали, что сравнительно высокая энергия роста бычков опытной группы способствовала и более высоким убойным показателям. Так, если бычки контрольной группы имели туши массой 225,2 кг, то сверстники, получавшие с рационом кормовые добавки весили больше на 10,2 кг, или на 4,5 % ( $P \leq 0,01$ ). Молодняк опытной группы характеризовался и более высоким отложением внутреннего жира-сырца. По абсолютной массе внутреннего жира-сырца контрольные бычки уступали сверстникам опытной группы на 2,07 кг, или на 22,1 % ( $P \leq 0,05$ ). Убойный выход у животных сравниваемых групп был высоким и составил 55,30–56,92 %. Более значительным убойным выходом характеризовались особи опытной группы,

которые опережали контрольных сверстников на 1,62 %.

При производстве говядины важно выявить не только морфологический состав прироста, но и химический, чтобы судить о наступлении физиологической зрелости мяса, его энергетической ценности, особенностей преобразования питательных веществ кормов в основные компоненты мяса.

Данные химического состава мяса показали, что на его качественные показатели существенное влияние оказывают кормовые добавки, содержащие в своём составе микроэлементы цинк и селен органической формы, скармливаемые бычкам в период заключительного откорма (табл. 2).

*Таблица 2 – Химический состав и качественные характеристики мяса-фарша бычков /*  
*Table 2 – Chemical composition and quality characteristics of minced meat of bulls*

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / control (n = 3)	опытная / experimental (n = 3)
Влага, % / Moisture, %	73,95±1,24	72,59±0,86*
Сухое вещество, % / Dry matter, %	26,05±1,24	27,41±0,86*
Белок, % / Protein, %	19,69±0,87	20,33±0,35
Жир, % / Fat, %	5,41±0,29	6,12±0,24
Зола, % / Ash, %	0,95±0,01	0,96±0,01
Энергетическая ценность 1 кг мякоти, МДж / Energy value of 1 kg of pulp, MJ	5,49	5,87

Примечания: Контрольная группа – рацион без кормовых добавок, опытная – рацион с кормовыми добавками Плексомин Zn 261 и Плексомин Se 2000 (по 1,2 г/гол в сутки); \*при  $P \leq 0,05$ ;  
Notes: Control group – diet without feed additives, experimental - diet with feed additives Plexomin Zn 26 and Plexomin Se 2000 (1.2 g/head/day), \* at  $P \leq 0.05$

Из данных таблицы 2 следует, что соотношение воды и сухих веществ в средних пробах мяса подопытных бычков было благоприятное, количество влаги колебалось от 72,59 до 73,95 %. Мякотная часть туши, полученная от опытных бычков, характеризовалась большим содержанием сухого вещества – на 1,36 % ( $P \leq 0,05$ ), жира – на 0,71 %, при меньшем содержании влаги – на 1,36 % ( $P \leq 0,05$ ). Степень зрелости мяса, определяемая содержанием жира в туше, сопровождается уменьшением количества воды, что подтверждается результатами нашего эксперимента. Максимальное содержание жира в мякоти туши бычков опытной группы ведёт к уменьшению влаги до 72,59 %, а минимальное содержание жира в мякоти туши контрольных особей – к увеличению доли влаги до 73,95 %. Более высокой энергетической ценностью

характеризовалась мякоть туш опытных бычков, которые опережали по данному показателю контрольных аналогов на 6,9 %.

Для характеристики химического состава мышечной ткани и определения степени отложения внутримышечного жира подвергают исследованию длиннейшую мышцу спины, позволяющая довольно точно судить о качестве мышечной части всей туши.

Результаты химического анализа длиннейшей мышцы спины бычков изучаемых групп представлены в таблице 3.

Полученные данные свидетельствуют о том, что содержание белка и внутримышечного жира в длиннейшей мышце спины бычков изучаемых групп было на уровне 20,62–21,71 % и 0,87–1,13 % соответственно, причём наибольшее их количество отмечалось у животных опытной



группы. Превосходство по белку составляло 1,09 %, по жиру 0,26 % ( $P \leq 0,05$ ). Энергетическая ценность 1 кг длиннейшей мышцы спины у опытных бычков составляла 4,17 МДж, тогда как у аналогов контрольной группы данный показатель был ниже на 7,47 %. В длиннейшей мышце спины бычков опытной группы на 32,9 % ( $P \leq 0,01$ ) больше содержалось гликогена. Это свидетельствует о том, что применяемые кормовые добавки способствовали лучшему

расщеплению углеводной части рациона, с большим образованием глюкозы. Более высокое содержание триптофана (на 5,78 %) и меньшее оксипролина (на 7,14 %) в мышечной ткани бычков опытной группы оказало непосредственное влияние на качество мышечной ткани, что подтверждается белковым качественным показателем, который составил 7,68 единиц, что выше, чем у сверстников контроля на 13,95 %.

*Таблица 3 – Химический состав и качественные характеристики длиннейшей мышцы спины бычков /*  
*Table 3 – Chemical composition and qualitative characteristics of the longissimus dorsi muscle of bulls*

Показатель / Indicator	Группа / Group	
	контрольная / control (n = 3)	опытная / experimental (n = 3)
Влага, % / Moisture, %	77,5±0,83	76,2±0,03*
Сухое вещество, % / Dry matter, %	22,48±0,834	23,83±0,030*
Белок, % / Protein, %	20,62±0,728	21,71±0,076
Жир, % / Fat, %	0,87±0,133	1,13±0,061*
Зола, % / Ash, %	0,99±0,000	0,99±0,000
Энергетическая ценность 1 кг мышцы, МДж / Energy value of 1 kg of muscle, MJ	3,88	4,17
pH, ед / pH, units	5,72±0,08	5,61±0,03*
Гликоген, мг% / Glycogen, mg%	136,27±17,34	181,17±19,67**
Триптофан, мг% / Tryptophan, mg%	366,56±11,509	387,76±20,929
Оксипролин, мг% / Oxypoline, mg%	54,38±1,085	50,50±0,996**
БКП / Protein quality indicator	6,74	7,68

Примечания: Контрольная группа – рацион без кормовых добавок, опытная – рацион с кормовыми добавками Плексомин Zn 261 и Плексомин Se 2000 (по 1,2 г/гол в сутки); \*при  $P \leq 0,05$ ; \*\* при  $P \leq 0,01$  (по отношению к контрольной группе) /

Notes: Control group – diet without feed additives, experimental – diet with feed additives Plexomin Zn 26 and Plexomin Se 2000 (1.2 g/head/day), \* at  $P \leq 0.05$ ; \*\* at  $P \leq 0.01$  (compared to control group)

Согласно данным ФГБУН «ФИЦ питания, биотехнологии и безопасности пищи» для нормального развития и жизнедеятельности, человеку требуются белки, важным критерием оценки которых является количество незаменимых аминокислот. В связи с этим, нами проведена оценка важнейших для организма человека аминокислот в длиннейшей мышце спины бычков в связи с применением изучаемых микроэлементных препаратов (табл. 4).

Из результатов таблицы 4 видно, что содержание как незаменимых, так и заменимых аминокислот в белках длиннейшей мышцы спины у бычков всех групп было довольно высокое. Однако следует отметить, белки мышечной ткани особой опытной группы содержали аргинина больше на 0,49 % ( $P \leq 0,05$ ), метионина – на 0,25 % ( $P \leq 0,001$ ), валина –

на 0,21 % ( $P \leq 0,01$ ), аланина – на 0,22 % ( $P \leq 0,05$ ), глицина – на 0,32 % ( $P \leq 0,05$ ) по сравнению с контрольной. Это объясняется тем, что вводимые с рационом микроэлементы усваиваются организмом и находятся в белках мышечной ткани в составе аминокислот, участвуя в биосинтезе различных комплексов, Se связан с метионином, образуя комплекс селенметионин.

Оценка минерального состава длиннейшей мышцы спины показала увеличение содержания Fe – на 28,6 % ( $P \leq 0,01$ ), Zn – 5,6 % ( $P \leq 0,01$ ), Cu – 8,5 % ( $P \leq 0,001$ ), Se – 64,7 % ( $P \leq 0,001$ ), I – 34,4 % ( $P \leq 0,05$ ), Ni – 61,9 % ( $P \leq 0,05$ ) при снижении As – 50,0 % ( $P \leq 0,01$ ), Al – 64,3 % ( $P \leq 0,001$ ), Pb – 55,6 % ( $P \leq 0,05$ ), Cd – 23,1 % ( $P \leq 0,01$ ), Na – 3,4 % ( $P \leq 0,05$ ) в опытной группе (табл. 5).

Таблица 4 – Содержание аминокислот в белках длиннейшей мышцы спины бычков, % /  
 Table 4 – Amino acid content in proteins of the longissimus dorsi muscle of bulls, %

Аминокислоты / Amino acids	Группа / Group	
	контрольная / control (n = 3)	опытная / experimental (n = 3)
Валин / Valin	3,89±0,04	4,10±0,05**
Лейцин + Изолейцин / Leucine + Isoleucine	10,02±0,20	10,31±0,33
Лизин / Lysine	7,22±0,12	7,38±0,25
Метионин / Methionine	1,93±0,01	2,18±0,04***
Треонин / Threonine	3,51±0,03	3,54±0,10
Аргинин / Arginine	5,30±0,18	5,79±0,17*
Фенилаланин / Phenylalanine	3,09±0,04	3,36±0,17
Аланин / Alanine	5,08±0,03	5,30±0,08*
Гистидин / Histidine	2,60±0,04	2,60±0,18
Глицин / Glycine	4,06±0,14	4,38±0,13*
Пролин / Proline	3,62±0,12	3,70±0,23
Серин / Serene	3,23±0,06	2,67±0,16
Тирозин / Tyrosine	2,59±0,07	3,31±0,12

Примечания: Контрольная группа – рацион без кормовых добавок, опытная – рацион с кормовыми добавками Плексомин Zn 261 и Плексомин Se 2000 (по 1,2 г/гол в сутки); \*при  $P \leq 0,05$ ; \*\* при  $P \leq 0,01$ , \*\*\* при  $P \leq 0,001$  (по отношению к контрольной группе) /

Notes: Control group – diet without feed additives, experimental - diet with feed additives Plexomin Zn 26 and Plexomin Se 2000 (1.2 g/head/day), \* at  $P \leq 0.05$ ; \*\* at  $P \leq 0.01$ , \*\*\* at  $P \leq 0.001$  (compared to control group)

Скармливание в составе рационов кормовых добавок стресспротекторного действия, содержащие в своём составе микроэлементы цинк и селен органической формы, оказывают существенное влияние на повышение содержания эссенциальных микроэлементов и снижение токсических в мышечной ткани животных.

*Обсуждение полученных результатов.* Мясная продуктивность животных, а также качество и пищевая ценность говядины зависят от целого ряда факторов: полноценного и сбалансированного кормления, условий содержания, породы, пола, возраста, физиологического состояния животного и других [4, 9, 10, 11]. При откорме молодняка крупного рогатого скота на мясо в рационах широко используются различные кормовые добавки, содержащие в своём составе биологически активные вещества, которые способствуют увеличению обменных процессов, усвояемости питательных веществ в организме, что в конечном итоге сказывается на убойных показателях животных и качестве мяса [12, 13].

В нашем исследовании применение в рационе кормовых добавок, содержащих в своём составе цинк и селен в органической форме, при заключительном откорме бычков чёрно-пёстрой породы положительно отрази-

лось на убойных показателях и качестве мяса. Так, при убое в 18 мес. масса парной туши бычков опытной группы составила 235,4 кг, что на 10,2 кг, или на 4,5 % больше, чем в контроле, внутреннего жира-сырца на 2,07 кг, или на 22,1 %, по убойному выходу – на 1,62 %. Мякотная часть туши, полученная от опытных бычков, характеризовалась большим содержанием сухого вещества – на 1,36 % ( $P \leq 0,05$ ), жира – на 0,71 %, при меньшем содержании влаги – на 1,36 % ( $P \leq 0,05$ ). Более высокой энергетической ценностью характеризовалась мякоть туш бычков опытных групп, которые по данному показателю опережали контрольных аналогов на 6,9 %.

Биологическая ценность мяса-говядины – это в первую очередь содержащиеся в нем белки, синтезирующиеся в организме из аминокислот, которые образуются в результате расщепления белков, находящихся в кормах [14, 15].

Анализ длиннейшей мышцы спины по содержанию аминокислот показал, что белки мышечной ткани у бычков опытной группы содержали аргинина больше на 0,49 % ( $P \leq 0,05$ ), метионина – на 0,25 % ( $P \leq 0,001$ ), валина – на 0,21 % ( $P \leq 0,01$ ), аланина – на 0,22 % ( $P \leq 0,05$ ), глицина – на 0,32 % ( $P \leq 0,05$ ) по сравнению с контрольной.

*Таблица 5 – Концентрация химических элементов в длиннейшей мышце бычков, мг/кг /*  
*Table 5 – Concentration of chemical elements in the longissimus dorsi muscle of bulls, mg/kg*

Элемент/ Element	Группа / Group	
	контрольная / control (n = 3)	опытная / experimental (n = 3)
K	15788±1274	15320±855
Ca	298±52	345±18
Mg	1100±56	1070±38
Na	2998±39	2895±30*
P	8646±483	8334±347
Fe	199,53±28,726	256,56±16,820**
Zn	227,64±4,482	240,30±8,315**
Co	0,02±0,009	0,02±0,005
Cr	2,13±0,262	2,13±0,520
Cu	3,05±0,107	3,31±0,061***
Mn	0,88±0,667	1,16±0,321
Se	0,68±0,084	1,12±0,078***
I	0,32±0,101	0,43±0,021*
B	1,56±0,046	1,52±0,103
Ni	0,63±0,355	1,02±0,181*
As	0,04±0,008	0,02±0,007**
Ba	0,11±0,012	0,11±0,021
Ag	0,01±0,001	0,01±0,006
Al	33,94±2,227	12,10±6,623***
Sr	0,47±0,045	0,43±0,153
Pb	0,09±0,004	0,04±0,039*
Cd	0,0039±0,0005	0,0030±0,000**
Ga	0,01±0,005	0,01±0,004
In	0,00±0,000	0,00±0,000
Tl	0,02±0,001	0,02±0,001
Bi	0,01±0,001	0,01±0,001

Примечания: Контрольная группа – рацион без кормовых добавок, опытная – рацион с кормовыми добавками Плексомин Zn 261 и Плексомин Se 2000 (по 1,2 г/гол в сутки); \*при P≤0,05; \*\* при P≤0,01, \*\*\* при P≤0,001 (по отношению к контрольной группе) /

Notes: Control group – diet without feed additives, experimental - diet with feed additives Plexomin Zn 26 and Plexomin Se 2000 (1.2 g/head/day), \* at P≤0.05; \*\* at P≤0.01, \*\*\* at P≤0.001 (compared to control group)

**Заключение.** Результаты проведённого исследования свидетельствуют о том, что скармливание бычкам на заключительном откорме в составе рациона кормовых добавок Плексомин Zn 29 и Плексомин Se 2000, содер-

жащих в своём составе Zn и Se органической формы, оказало положительное влияние на мясную продуктивность, убойные показатели и качество мяса.

#### **Список литературы**

1. Дускаев Г. К., Харламов А. В., Левахин Г. И., Ажмулдинов Е. А., Амерханов Е. А., Мирошников С. А., Рысаев А. Ф. Краткий обзор систем производства говядины в России и мире (обзор). Животноводство и кормопроизводство. 2022;105(3):78–94. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-78> EDN: IBFJGM
2. Ouali A., Gaguaou M., Boudida Y., Becila S., Boudjellal A., Herrera-Mendez C. H., Sentandreu M. A. Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. Meat Science. 2013;95(4):854–870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.010>

3. Кулинцев В. В., Шевхужев А. Ф., Дорохин Н. А. Эффективность выращивания и откорма молодняка симментальской поды при разных технологиях содержания и кормления. *Сельскохозяйственный журнал*. 2022;(3(15)):96–111. DOI: <https://doi.org/10.25930/2687-1254/013.3.15.2022> EDN: JDTGPB
4. Кулиев Р. Т., Кенжебаев Т. Е., Мамырова Л. К., Есембекова З. Т. Откормочные и убойные качества молодняка молочного и молочно-мясного скота. *Аграрная наука*. 2020;(5):48–51. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-48-51> EDN: NAVUYN
5. Косилов В. И., Харламов А. В., Никонова Е. А., Рахимжанова И. А., Третьякова Р. Ф., Каюмов Ф. Г. Влияние генотипа тёлочек на качество мясной продукции. *Животноводство и кормопроизводство*. 2022;105(3):69–77. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-69> EDN: TFXYCF
6. Наумов М. К. Изменение весового роста бычков чёрно-пёстрой породы и её помесей с голштинами на Южном Урале. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2021;(2(88)):235–238. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-235-238> EDN: MEZKEU
7. Рахимжанова И. А., Байков А. С., Ширнина Н. М., Галлиев Б. Х. Продуктивные и мясные качества молодняка крупного рогатого скота при использовании в рационе кавитированных концентратов. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2020;(6(86)):275–280. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-275-280> EDN: NJWWJV
8. Старцева Н. В. Потребление кормов, питательных веществ и динамика живой массы чистопородного и поместного молодняка крупного рогатого скота. *Известия Оренбургского государственного университета*. 2021;(2(88)):246–249. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-246-249> EDN: UTNFKL
9. Дедюкин А. М., Санникова Н. А., Васильева М. И., Воробьёва Н. А. Оценка мясной продуктивности скота герфордской породы в условиях Удмуртской Республики. *Известия Оренбургского государственного аграрного университета*. 2023;(4(102)):250–254. DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-250-254> EDN: QMZUMR
10. Тарчоков Т. Т., Приступа В. Н., Торосян Д. С., Савенков К. С., Рудометкина О. А. Современные технологии производства говядины. *Известия Кабардино-Балкарского государственного аграрного университета им. В. М. Кокова*. 2022;(4(38)):57–64. DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-4-38-57-64> EDN: ASNUVF
11. Фролов А. Н., Харламов А. В., Ажмулдинов Е. А. Влияние сезона года и продолжительность предубойной выдержки на уровень окислительного стресса, убойные показатели и качественные характеристики мяса бычков. *Животноводство и кормопроизводство*. 2023;106(4):91–101. DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-91>
12. Кулик Д. К., Варакин А. Т., Саломатин В. В. Повышение продуктивных качеств бычков при использовании в рационах селенсодержащих кормовых добавок. *Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство*. 2022;(12(209)):33–40. DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-05-2212-04> EDN: UXXAOF
13. Hultgren J., Segerkvist K. A., Berg Ch., Karlsson A. H., Öhgren C., Algers B. Preslaughter stress and beef quality in relation to slaughter transport of cattle. *Livestock Science*. 2022;264:105073. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105073>
14. Харламов А. В., Ажмулдинов Е. А., Фролов А. Н., Завьялов О. А., Кизаев М. А. Влияние технологических факторов при убое бычков на аминокислотный состав мяса. *Пермский аграрный вестник*. 2022;(3(39)):139–144. DOI: [https://doi.org/10.47737/2307-2873\\_2022\\_39\\_138](https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_39_138) EDN: LGYBLG
15. Ажмулдинов Е. А., Кизаев М. А., Харламов А. В., Титов М. Г. Качество мясной продукции в зависимости от продуктивного содержания. *Ветеринарный врач*. 2022;(1):4–7. DOI: <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-4-7> EDN: XHHJRD

### References

1. Duskaev G. K., Kharlamov A. V., Levakhin G. I., Azhmuldinov E. A., Amerkhanov E. A., Miroshnikov S. A., Rysaev A. F. Brief overview of beef production systems in Russia and the world. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):78–94. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-78>
2. Ouali A., Gagaoua M., Boudida Y., Becila S., Boudjellal A., Herrera-Mendez C. H., Sentandreu M. A. Biomarkers of meat tenderness: present knowledge and perspectives in regards to our current understanding of the mechanisms involved. *Meat Science*. 2013;95(4):854–870. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.meatsci.2013.05.010>
3. Kulintsev V. V., Shevkhuzhev A. F., Dorokhin N. A. Effectiveness of growing and fattening of young simmental cattle with different housing and feeding technologies. *Sel'skokhozyaystvennyy zhurnal*. 2022;(3(15)):96–111. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25930/2687-1254/013.3.15.2022>
4. Kuliyeu R. T., Kenzhebayev T. E., Bekisheva S. N., Mamyrova L. K., Yesembekova Z. T. Feeding and slaughter qualities of young dairy and dairy and beef cattle. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2020;(5):48–51. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2020-338-5-48-51>
5. Kosilov V. I., Kharlamov A. V., Nikonova E. A., Rakhimzhanova I. A., Tretyakova R. F., Kayumov F. G. The effect of heifers' genotype on quality of meat products. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo = Animal Husbandry and Fodder Production*. 2022;105(3):69–77. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-105-3-69>

6. Naumov M. K. Changes in the weight of black-and-wood bulls and its cross-section with holsteins in the Southern Urals. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;(2(88)):235–238. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-235-238>
7. Rakhimzhanova I. A., Baykov A. S., Shirmina N. M., Galliev B. Kh. Productive and quality indicators of beef of young cattle when using cavitated concentrates in the diet. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2020;(6(86)):275–280. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2020-86-6-275-280>
8. Startseva N. V. Consumption of feed, nutrients and dynamics of live weight of purebred and crossbred young cattle. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2021;(2(88)):246–249. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2021-88-2-246-249>
9. Dedyukin A. M., Sannikova N. A., Vasilyeva M. I., Vorobyova N. A. The results of assessing the meat productivity of cattle of the hereford breed in the conditions of the Udmurt Republic. *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* = *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023;(4(102)):250–254. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.37670/2073-0853-2023-102-4-250-254>
10. Tarchokov T. T., Pristupa V. N., Torosyan D. S., Savenkov K. S., Rudometkina O. A. Modern beef production technologies. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta im. V. M. Kokova*. 2022;(4(38)):57–64. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55196/2411-3492-2022-4-38-57-64>
11. Frolov A. N., Kharlamov A. V., Azhmuldinov E. A. Effect of season and duration of pre-slaughter handling on oxidative stress levels, slaughter performance, and quality traits of steer meat. *Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo* = *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):91–101. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-91>
12. Kulik D. K., Varakin A. T., Salomatin V. V. Improving the productive traits of steers when using selenium-containing feed additives in their rations. *Kormlenie sel'skokhozyaystvennykh zhivotnykh i kormoproizvodstvo*. 2022;(12(209)):33–40. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33920/sel-05-2212-04>
13. Hultgren J., Segerkvist K. A., Berg Ch., Karlsson A. H., Öhgren C., Algers B. Preslaughter stress and beef quality in relation to slaughter transport of cattle. *Livestock Science*. 2022;264:105073. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.livsci.2022.105073>
14. Kharlamov A. V., Azhmuldinov E. A., Frolov A. N., Zavyalov O. A., Kizaev M. A. Influence of technological factors at slaughter of bulls on the amino acid composition of meat. *Permskiy agrarnyy vestnik* = *Perm Agrarian Journal*. 2022;(3(39)):139–144. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.47737/2307-2873\\_2022\\_39\\_138](https://doi.org/10.47737/2307-2873_2022_39_138)
15. Azhmuldinov E. A., Kizaev M. A., Kharlamov A. V., Titov M. G. The quality of meat products depending on the pre-slaughter content. *Veterinarnyy vrach*. 2022;(1):4–7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33632/1998-698X.2021-1-4-7>

#### **Сведения об авторах**

**Харламов Анатолий Васильевич**, доктор с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: [fncbst@mail.ru](mailto:fncbst@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

✉ **Фролов Алексей Николаевич**, доктор биол. наук, зав. отделом технологии мясного скотоводства и производства говядины, ФГБНУ «Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук», ул. 9 Января, 29, г. Оренбург, Оренбургская обл., Российская Федерация, 460000, e-mail: [fncbst@mail.ru](mailto:fncbst@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>, e-mail: [forleh@mail.ru](mailto:forleh@mail.ru)

**Виктор Васильевич Ильин**, кандидат с.-х. наук, заведующий лабораторией «Управление проектами», Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, 460000, г. Оренбург, ул. 9 января, 29 e-mail: [fncbst@mail.ru](mailto:fncbst@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3430-872X>

#### **Information about the authors**

**Anatoly V. Kharlamov**, DSc in Agricultural Science, professor, chief researcher, the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: [fncbst@mail.ru](mailto:fncbst@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9477-6568>

✉ **Alexei N. Frolov**, DSc in Biological Science, Head of the Department of Technology of Beef Cattle Breeding and Beef Production, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: [fncbst@mail.ru](mailto:fncbst@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4525-2554>, e-mail: [forleh@mail.ru](mailto:forleh@mail.ru)

**Victor V. Ilyin**, PhD in Agricultural Science, Head of the “Project Management” Laboratory, Federal Research Centre of Biological Systems and Agrotechnologies of the Russian Academy of Sciences, 9 Yanvarya St., 29, Orenburg, Orenburg region, Russian Federation, 460000, e-mail: [fncbst@mail.ru](mailto:fncbst@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3430-872X>

✉ – Для контактов / Corresponding author



<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1156-1162>

УДК 619:616-07+633.8+615.015.21

**Воздействие Фитостимплус на биохимические показатели крови, среднесуточный прирост и устойчивость к заболеваниям телят**

© 2024. Н. А. Латушкина ✉

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

Цель работы – изучить влияние добавки Фитостимплус на клинико-физиологический статус, среднесуточный прирост и сохранность телят молочного периода выращивания. Фитобиотик содержит экстракт из трёх трав (рапонтикум сафлоровидный, серпуха венценосная, таволга вязолистная) и молочнокислые микроорганизмы, высушенные лиофильно. Работа проведена в 2023 году. В эксперименте задействованы телята голштинской породы, начиная с возраста двух дней. Были сформированы опытная и контрольная группы по 10 голов в каждой. В контрольной группе телята содержались на обычном рационе, без применения каких-либо препаратов. Добавку выпаивали телятам опытной группы в дозе 30 мл/гол в сутки после предварительного разведения в воде. Продолжительность проведения опыта составила два месяца. Через 30 дней после начала эксперимента у телят опытной и контрольной групп альбумин превышал референсные значения на 17,8–18,1 %. В обеих группах телят  $\alpha$ -глобулин снизился в сравнении с физиологической нормой на 3,3–4,1 %,  $\gamma$ -глобулин – на 6,0–6,2 %, наблюдали уменьшение  $\beta$ -глобулина на 5,5 % у животных в опыте. Остальные исследуемые показатели крови телят (мочевина, цинк-сульфатная проба) в обеих группах находились в пределах нормы и достоверно не отличались. К окончанию экспериментов у телят в опыте общий белок превышал показатель в контроле на 30 %, альбумин – на 8,1 %,  $\gamma$ -глобулин – на 4,9 %, при этом отмечено снижение  $\alpha$ -глобулина на 8,6 %,  $\beta$ -глобулина – на 4,4 %. Исследуемые показатели не выходили за пределы физиологической нормы. Продолжительность лечения энтерита у телят опытной группы была на  $0,7 \pm 0,2$  дня меньше, чем в контроле. Сохранность животных к окончанию опыта составила 100 %. Среднесуточный прирост живой массы телят после применения фитобиотика в течение 60 дней на 4,9 % превысил аналогичный в контроле.

**Ключевые слова:** фитобиотик, рапонтикум, серпуха, таволга, биохимия крови, прирост живой массы, заболеваемость

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока имени Н. В. Рудницкого (тема FNWE-2022-0003).

Автор благодарит главного ветеринарного врача АО «Кировский молочный комбинат» Е. С. Муравину, главного зоотехника ООО «Агрофирма Мухино» Зуевского района Кировской области М. Е. Мочилову за помощь в проведении опыта.

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

**Конфликт интересов:** автор заявил об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Латушкина Н. А. Воздействие Фитостимплус на биохимические показатели крови, среднесуточный прирост и устойчивость к заболеваниям телят. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1156–1162. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1156-1162>

Поступила: 27.06.2024

Принята к публикации: 22.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

**The effect of Phytostimplus on blood biochemical parameters, average daily growth and disease resistance of calves**

© 2024. 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 effect of the Phytostimplus supplement on the clinical and physiological status, average daily growth and viability of calves during the dairy growing period. The phytobiotic contained an extract from three herbs (safflower rhaponticum, crowned sickle, viscose meadowsweet) and lactic acid microorganisms dried lyophilically. The work was carried out in 2023. The experiment involved calves of the Holstein breed, starting at the age of 2 days. Experimental and control groups of 10 heads each were formed. In the control group, the calves were kept on a regular diet, without the use of any drugs. The additive was soldered to calves of the experimental group at a dose of 30.0 ml / head per day after preliminary dilution in water. The duration of the experiment was 2 months. Thirty days after the start of the experiment, the albumin in the calves of the experimental and control groups exceeded the reference values by 17.8–18.1 %. In both groups of calves,  $\alpha$ -globulin decreased in comparison with the physiological norm by 3.3–4.1 %,  $\gamma$ -globulin – by 6.0–6.2 %. A decrease of  $\beta$ -globulin by 5.5 % was observed in animals in the experiment. The rest of the studied blood parameters of calves (urea, zinc sulfate test) in both

groups were within the normal range and did not differ significantly. By the end of the experiments, the total protein in the calves in the experiment exceeded the indicator in the control by 30 %, albumin – by 8.1 %,  $\gamma$ -globulin – by 4.9 %, while there was a decrease in  $\alpha$ -globulin by 8.6 %,  $\beta$ -globulin – by 4.4 %. The studied parameters did not exceed the limits of the physiological norm. The duration of treatment of enteritis in calves in the experimental groups turned out to be less than in the control with Phytostimplus by  $0.7 \pm 0.2$  days. The safety of animals by the end of the experiments was 100 %. The average daily increase in live weight of calves after the use of phytobiotics for 60 days exceeded that in the control by 4.9 %.

**Keywords:** phytobiotic, raponticum, sickle, meadowsweet, blood biochemistry, body weight gain, morbidity

**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 after N. V. Rudnitsky (theme No. FNWE-2022-0003).

The author thanks the chief veterinarian of JSC Kirov Dairy Plant E. S. Muravina, the chief zootechnician of LLC Agrofirma Mukhino of the Zuyevka district of the Kirov region M. E. Mochilova for the help in conducting the experiment.

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

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

**For citations:** Latushkina N. A. The effect of Phytostimplus on blood biochemical parameters, average daily growth and disease resistance of calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1156–1162. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1156-1162>

Received: 27.06.2024

Accepted for publication: 22.11.2024

Published online: 25.12.2024

В перечне болезней молодняка крупного рогатого скота значительное место занимают желудочно-кишечные патологии, основной причиной которых является снижение естественной резистентности. У новорожденных телят на болезни органов пищеварения, сопровождающиеся диарейным симптомокомплексом, приходится 60–70 % патологий [1]. Из-за нарушения местной и общей иммунной защиты изменяется микробиоценоз кишечника, приводящий к функциональным расстройствам, вследствие чего животные становятся более подверженными различным заболеваниям и неизбежно ухудшается качество получаемой от них продукции. Основными причинами возникновения патологий у молодняка, как правило, являются нарушения режима кормления и содержания. При этом выделяют лёгкую и тяжёлую формы диспепсии. В лёгких случаях заболеваний устраняются причины, их вызвавшие, и назначается алиментарная терапия. При токсической форме показано медикаментозное лечение и применение препаратов, стимулирующих иммунный ответ. Оно должно быть интенсивным, комплексным, включать соблюдение диеты, этиотропную, регидрационную, антитоксическую терапию, назначение ферментных и пробиотических средств [2].

В последние годы ветеринарной практической медициной накоплен большой опыт профилактики иммунодефицитных состояний у телят молочного периода и имеются рекомендации о применении препаратов широкого спектра использования: пробиотиков, пребиотиков, симбиотиков, фитопрепаратов и других [3, 4]. Экспериментально доказано, что они могут быть успешным решением в качестве

замены кормовых антибиотиков в рационе питания животных и повышать их естественную резистентность. Данные препараты относятся к экологически безопасным средствам, их действие направлено на предотвращение отрицательного влияния на организм факторов, способствующих снижению общей резистентности, а также нарушению метаболических процессов и возникновению стрессовых реакций. [5]. Интерес к созданию и практическому применению биодобавок возрастает, поскольку сельское хозяйство постепенно переходит на органическое производство.

Пробиотики и пребиотики способствуют оздоровлению кишечника, стимулируя развитие нормальной микрофлоры, увеличивая пищеварительную способность, предотвращая колонизацию кишечных патогенов, снижая pH и способствуя некоторым иммуномодулирующим эффектам. При регулярном применении происходит уменьшение местного воспаления, улучшение метаболизма. Это особенно важно в кормлении животных с первых дней жизни, т. к. благодаря формированию кишечного биоценоза сводится к минимуму заболеваемость поголовья [6, 7].

Кормовые добавки на растительной основе включают широкий спектр трав, их экстракты и эфирные масла. Они улучшают вкусовые качества кормов, проявляют антиоксидантную, противомикробную, а также противопаразитарную активность [8, 9].

Следует отметить особое влияние фитобиотиков на микробиологический состав кишечника. Их использование стимулирует секрецию пищеварительных соков и оказывает положительное влияние на морфофункциональные

характеристики слизистой оболочки желудочно-кишечного тракта: происходит удлинение ворсинок слизистой оболочки, стимуляция роста эпителиальных клеток, высвобождение противовоспалительных цитокинов. Более полное и продуктивное всасывание в тонком кишечнике приводит к уменьшению потерь ценных питательных веществ. В толстом кишечнике снижается риск развития нежелательной микрофлоры. Благодаря действию фитобиотических добавок исчезают такие явления, как снижение иммунного и антиоксидантного статуса животных. Доказано их многофакторное действие на функциональное состояние внутренних органов в организме животных и человека [10].

При изучении действующего начала растений было установлено, что экдистероиды занимают здесь особое положение. Они синтезируются травами в наибольшем количестве и проявляют высокую биологическую активность. Экспериментально подтверждены их иммуномодулирующие, регенеративные и анаболические воздействия, а также участие в регуляции минерального, углеводного, липидного и белкового обменов, нормализации уровня холестерина и уменьшения воспаления печени.

Общетонизирующий эффект развивается постепенно и выражается в усилении стрессоустойчивости организма животных, нормализации эндокринной и вегетативной систем, сопровождаясь усилением аппетита и секреции желез желудочно-кишечного тракта, повышением тонуса внутренних органов. Помимо отмеченных эффектов, появляется восстановление сниженного сосудистого тонуса и улучшение ритмичности работы сердца<sup>1</sup>.

Самым простым способом применения фитобиотиков является скармливание животным растений в сухом измельченном виде. Однако получены положительные результаты при использовании экстрактов из сырья растительного происхождения [11].

Наилучших показателей удаётся достичь при совместном использовании разных источников, поскольку появляется синергический эффект пробиотиков и пребиотиков с фитобиотиками [12]. Активность этих соединений в первую очередь направлена на предотвращение инфекций, вызванных патогенными агентами и, как следствие, повышение иммунного статуса.

В результате экспериментов по разработке новой фитобиотической добавки, прове-

дённых нами ранее, установлено, что в ней содержатся высокие концентрации экдистероидов, флавоноидов и их гликозидов. Кроме того, в составе Фитостимплус присутствуют лактобактерии в концентрации  $4 \times 10^6$  КОЕ/г из расчёта на массу продукта. Оптимальные дозы Фитостимплус были определены в предыдущих исследованиях и составили 2,0 и 3,0 г на голову в сутки [13].

**Цель исследований** – изучить влияние фитобиотической добавки Фитостимплус на клинико-физиологический статус, среднесуточный прирост и устойчивость к заболеваниям телят молочного периода.

**Научная новизна** – получение новых экспериментальных данных о фармакодинамике Фитостимплус в эксперименте на телятах молочного периода выращивания.

**Материал и методы.** Экспериментальную работу проводили в ООО «Агрофирма Мухино» Зуевского района Кировской области в 2023 году. Фитобиотик получали в лаборатории ветеринарной биотехнологии ФГБНУ ФАНЦ Северо-Востока. Исследование крови осуществляли в областной ветеринарной лаборатории (г. Киров). В качестве исследуемого фитобиотика использовали Фитостимплус. Данный препарат представляет собой смесь из трех трав: рапунтикума сафлоровидного, серпухи венценой, таволги вязолистной и лиофильно высушенных молочнокислых микроорганизмов. Сбор трав проводили в Кирово-Чепецком районе Кировской области при содействии ИП Макаренков М. В. по договору о научном сотрудничестве. Нарботка экстрактов из трав включала несколько этапов. Вначале проводили сушку растительного сырья при температуре 40 °С в термобоксе до 20 % влажности, далее травы перемалывали на измельчителе лабораторном, затем фитосырьё экстрагировалось 70%-ным водным этанолом в соотношении 1:30 в течение двух недель. В заключении экстракты помещали на цеолите в соотношении 1:1 в термобоксе при температуре 35 °С в течение одного дня. Лактобактерии вносили в порошкообразную субстанцию и равномерно перемешивали.

В эксперименте продолжительностью 60 дней использовали телят голштинской породы, начиная с двухдневного возраста. Были сформированы по принципу аналогов опытная и контрольная группы по 10 голов в каждой.

<sup>1</sup>Пилип Л. В., Белорыбкина О. В., Ивановский А. А., Копылов С. Н. Иммуномодуляторы: учебное пособие. Киров: Вятская ГСХА, 2008. С. 30–39.

В контрольной группе телята содержались на обычном рационе, без применения каких-либо препаратов. Им выпаивали молоко в объёме 6 л на голову в сутки, а на третий день после рождения в рацион постепенно вводился легкоусвояемый престартерный комбикорм КК-62/1. Дозу препарата определяли на основании ранее проведенных экспериментов. Фитостимплус в дозе 30 г в виде порошка разводили в 300 мл воды и выпаивали телятам опытной группы в сутки 30 мл/гол, что в пересчёте составило 3 г сухого продукта на голову. В контрольной группе телята содержались по традиционной для хозяйства системе, без введения фитобиотика (интактные). На 30-е и 60-е сутки эксперимента исследовали кровь на некоторые биохимические показатели: общий белок, альбумины,  $\alpha$ -глобулины,  $\beta$ -глобулины,  $\gamma$ -глобулины, мочевины, цинк-сульфатная проба.

Биохимические показатели крови исследовали по общепринятым методикам<sup>2</sup>. Содержание общего белка определяли рефрактометрическим методом на приборе ИРФ-22, фракционный состав белков – нефелометрическим методом, мочевины – фотоколориметрическим методом, цинк-сульфатная проба – химическим визуальным методом, иммунные глобулины – в реакции с сульфитом натрия.

Фармакологическую оценку применения фитобиотика телятам проводили в начале опыта, через 30 и 60 дней на основании клинического осмотра (измерение температуры тела, число ударов пульса и частота дыхания в 1 минуту), исследований крови по нескольким биохимическим показателям, влияния на заболеваемость и сохранность. Математический анализ, статистическую обработку результатов проводили с помощью Microsoft Office Excel с использованием t-критерия Стьюдента при  $P < 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** При использовании экспериментального препарата процессы, протекающие в организме животных, отражаются, прежде всего, на биохимическом составе крови, по которому можно судить о степени напряженности биосинтеза белка и уровне обмена веществ, обуславливающие сохранность и продуктивность животных.

Кровь играет в организме исключительно важную роль, благодаря которой осуществляется важнейшее свойство живой материи – обмен веществ. Через кровь обеспечиваются защитные функции, гормональная регуляция, а также поддерживается равновесие электро-

литов в организме. Она отражает как общее устройство организма, его конституционные особенности, так и его физиологическое состояние, которое связано с отправлениями жизненных функций и условиями жизни.

На начальном этапе исследований определяли влияние Фитостимплус на ряд биохимических показателей крови телят. Полученные данные представлены в таблице 1.

Исследуемые показатели у животных опытной и контрольной групп через 30 дней после начала эксперимента не имели достоверных отличий ( $P > 0,05$ ). Как видно из данных, приведённых в таблице 1, при исследовании крови у телят опытной и контрольной групп альбумин превышал референсные значения на 17,8–18,1 %. Такой результат обусловлен формированием иммунного ответа в период заболевания телят энтеритами. В то же время в опытной и контрольной группах телят снижались в сравнении с референсными значениями показатели:  $\alpha$ -глобулин – на 3,3–4,1 %,  $\gamma$ -глобулин – на 6,0–6,2 %. Также наблюдали у животных в опыте уменьшение на 5,5 %  $\beta$ -глобулина.

Остальные исследуемые показатели крови телят (мочевина, цинк-сульфатная проба) в обеих группах находились в пределах нормы и достоверно не отличались по группам ( $P > 0,05$ ). Результаты исследований крови у телят в контрольной группе были аналогичны.

Результаты анализов крови, отмеченные после 60-дневного курса применения Фитостимплус получены следующие (при  $P < 0,05$ ): общий белок у телят опытной группы увеличился на 30 %, чем в контроле; альбумин в крови телят опытной группы превысил контроль на 8,1 %;  $\alpha$ -глобулин снизился относительно контроля на 8,6 %;  $\beta$ -глобулин снизился на 4,4 %;  $\gamma$ -глобулин повысился на 4,9 %. Остальные исследуемые показатели находились в пределах референсных значений и не имели достоверных отличий между группами.

Профилактика различных заболеваний телят имеет свои особенности. В это время у животных стабилизируется фагоцитарная активность лейкоцитов, появляются гуморальные факторы защиты организма. В хозяйствах из-за частой перегруппировки животных изменяется режим кормления, вследствие чего отмечается снижение общей резистентности организма телят, приводящее к развитию у них заболеваний различной этиологии.

<sup>2</sup>Кондрахин 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.

*Таблица 1 – Биохимический анализ крови телят после применения Фитостимплус (n =10 в группе, M±m) /*  
*Table 1 – Biochemical blood test of calves after using Phytostimplus (n =1 0 per group, M±m)*

Группа / Group	Общий белок, г/% / Total protein, g/l	Альбумин, г/л / Albumin, g/l	α-глобулин, % / α-globulin, %	β-глобулин, % / β-globulin, %	γ-глобулин, % /, % / γ-globulin, %	Мочевина, ммоль/л / Urea, mmol/l	Цинк- сульфатная проба, мл / Zinc sulfate test, ml
Через 30 суток / 30 days after the start of the experiment							
Норма / Norm	5,6–8,6	30–50	12–20	10–16	25–40	2,8–8,0	1,6–2,6
Опыт / Experiment	6,2±0,2	67,8±3,7	8,7±0,5	4,5±0,6	19,0±1,1	3,6±0,2	2,2±0,01
Контроль / Control	5,6±0,2	68,1±2,2	7,9±0,5	5,2±0,6	18,8±1,1	3,6±0,2	2,1±0,01
Через 60 суток / 60 days after the start of the experiment							
Норма / Norm	5,6–8,6	30–50	12–20	10–16	25–40	2,8–8,0	1,6–2,6
Опыт / Experiment	6,8±1,2*	52,7±0,1*	10,9±0,1*	11,8±0,2*	24,6±0,1*	3,65±0,2	2,0±0,01
Контроль / Control	5,2±0,7	44,6±0,9	19,5±0,5	16,2±0,1	19,7±0,2	3,65±0,2	2,1±0,01

\* При P<0,05 достоверно в сравнении опыта с контролем / \* At P<0.05 it is significant in comparison with the control

Традиционные схемы лечения больных животных с использованием различных синтетических препаратов не всегда приводят к положительному результату. Применение данных средств терапии зачастую оказывает отрицательное воздействие на иммунитет молодняка, процесс выздоровления затягивается. Бесконтрольное их применение приводит к нарушениям микробиоценоза в желудочно-кишечном тракте телят. Антибиотики подавляют ту часть микрофлоры, которая в норме выполняет

защитные функции. В результате может развиться кишечный дисбактериоз стафилококковой, протейной, кандидозной, клостридиозной этиологии, и это приводит к удлинению сроков их персистирования в кишечнике.

Для оценки эффективности Фитостимплус в отношении желудочно-кишечных патологий использовали следующие показатели летальности и сохранности телят, представленные в таблице 2.

*Таблица 2 – Влияние фитобиотика Фитостимплус на сохранность телят (n = 10 в группе) /*  
*Table 2 – The effect of the phytobiotic Phytostimplus on the survival of calves (n = 10 per group)*

Группа / Group	Доза, г/гол / Dose, g/head	Больные / Sick		Летальность / Mortality		Срок лечения, сут / Treatment duration, days
		гол. / heads	%	гол. / heads	%	
Через 30 суток после начала опыта / 30 days after the start of the experiment						
Опыт / Experiment	3,0	7	70	0	0	4,5±0,4
Контроль / Control	-	8	80	0	0	5,2 ±0,2
Через 60 суток после начала опыта / 60 days after the start of the experiment						
Опыт / Experiment	3,0	-	0	0	0	0
Контроль / Control	-	2	20	0	0	0

Мониторинг клинического состояния телят на 12–14-й день жизни зафиксировал у 80 % животных обеих групп возникновение кишечной патологии. Данная ситуация возникла в результате выпаивания животным некачественного, по результатам бактериологического анализа, молока. Патологический процесс купировали следующим образом: перорально выпаивали сенной отвар и внутривенно вводили раствор Рингера-Локка. В тяжелых случаях протекания заболевания проводили

внутримышечные инъекции стрептомицина сульфата. Методы терапии были идентичными для телят обеих групп, однако в опытной группе продолжали выпаивать экспериментальный препарат Фитостимплус. При этом было отмечено, что у телят опытной группы заболевание протекало в наиболее легкой форме по сравнению с контролем. Продолжительность лечения молодняка в опытной группе составила 4,5±0,4 суток, в контроле – 5,2±0,2 суток.



К окончанию эксперимента число здоровых животных в опытной группе составило 100 %, в контрольной – 80 %. Все заболевшие телята после проведенного лечения выздоровели, их сохранность на день окончания опыта составила 100 %. Более ранние сроки выздоровления животных в опытной группе в сравнении с контролем можно объяснить воздействием на их организм биологически активных веществ, содержащихся в растениях, и высокой концентрацией лактобактерий, присутствующих в фитобиотике.

Сразу после рождения рубец у телят стерилен, и в первые недели жизни у молодняка хорошо функционирует только сычуг, занимающий более половины объема желудочно-кишечного тракта. Именно в нём и тонком отделе кишечника происходит переваривание

и усвоение питательных веществ молозива и молока в дальнейшем. Поэтому необходимо как можно быстрее развить преджелудки для усвоения и переваривания растительных кормов в большом количестве. Заселение рубца микроорганизмами с зерновыми кормами способствует его развитию. С третьего дня жизни телят постепенно приучают к поеданию концентрированных кормов вволю. С развитием преджелудков у молодняка отмечают смешанное пищеварение и интенсивный рост мышечной массы.

В заключение научного эксперимента было изучено влияние фитобиотика на показатель прироста живой массы телят путём взвешивания. Ее показатели характеризовали интенсивность обменных процессов и клинико-физиологический статус (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние фитобиотика Фитостимплус на прирост живой массы телят (n = 10 в группе, M±m) /  
Table 3 – The effect of the phytobiotic Phytostimplus on the live weight gain of calves (n = 10 per group, M±m)

Группа / Group	Доза, г/гол / Dose, g/head	Живая масса, кг / Live weight groups, kg	Прирост за весь цикл, кг / Weight gain for the entire cycle, kg	Среднесуточный прирост за весь цикл, кг / Average daily gain for the entire cycle, kg
Начало опыта / Beginning of the experiment				
Опыт / Experiment	3,0	40,9±1,7	-	-
Контроль / Control	-	41,5±1,4	-	-
Через 60 суток после начала опыта / 60 days after the start of the experiment				
Опыт / Experiment	3,0	88,8±3,9	47,9±0,07	0,799±0,02
Контроль / Control	-	87,2±4,1	45,6±0,02	0,761±0,03

Среднесуточный прирост массы тела к окончанию наблюдений в группах колебался от 600 до 937 г на голову. Такие различия показателей прироста массы тела у отдельно взятых телят можно объяснить кишечной патологией. Как видно из данных таблицы 3, к заключительному дню среднесуточный прирост массы телят в опытной группе на 4,9 % превзошел результат в контрольной. На наш взгляд, отсутствие пропорциональной корреляции между увеличением общего белка на 30 % и приростом массы телят в опытной группе можно объяснить недостаточной продолжительностью наблюдений за животными. Не исключено, что в дальнейшем прирост массы телят в опытной группе увеличивался на более значительный процент в сравнении с контролем.

**Заключение.** Таким образом, результаты проведенных исследований показали, что после применения фитобиотика Фитостимплус у телят общий белок превышал показатель в контроле на 30 %, альбумин – на 8,1 %,  $\gamma$ -глобулин – на 4,9 %, при этом отмечалось снижение  $\alpha$ -глобулина на 8,6 %,  $\beta$ -глобулина – на 4,4 %. Исследуемые показатели не выходили за пределы референсных значений. Продолжительность лечения кишечной патологии у телят в опытной группе оказалась меньше, чем в контроле с Фитостимплус на 0,7±0,2 дня. Сохранность животных к окончанию опытов составила 100 %. Среднесуточный прирост живой массы телят после применения Фитостимплус превысил аналогичный в контроле на 4,9 %.

#### Список литературы

1. Жданова И. Н., Мокрушин В. В., Кузнецова М. В. Колибактериоз крупного рогатого скота в Пермском крае: распространенность, источники возбудителя и его биологические особенности. Сельскохозяйственная биология. 2022;57(4):776–790. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.776rus> EDN: NCCPNK
2. Кондрахин И. П. Диспепсия новорожденных телят – успехи, проблемы. Ветеринария. 2003;(1):39–43.
3. Reid G. Probiotics for urogenital health. Nutrition in Clinical Care. 2002;5(1):3–8. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2002.00512.x>
4. 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>

5. 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
6. Anadyn A. Martnnez-Larranaga M. R., AranzazuMartnnez M. Probiotics for animal nutrition in the European Union. *Regulation and Safety Assessment. Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2006;45(1):91–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.02.004>
7. Тюкавкина О. Н., Краснощекова Т. А. Влияние пробиотика «Витацелл» на показатели роста и гематологический статус телят. *Дальневосточный аграрный вестник*. 2019;(4(52)):102–109. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42207782> EDN: XGRLEG
8. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Chapter 15 – Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 261–277. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
9. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
10. Бagno О. А., Прохоров О. Н., Шевченко С. А., Шевченко А. Н., Дядичкина Т. В. Фитобиотики в кормлении сельскохозяйственных животных. *Сельскохозяйственная биология*. 2018;53(4):687–697. DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2018.4.687rus> EDN: UZBLPC
11. Тарасов А. В., Бухаринова М. А., Хамзина Е. И. Определение антиоксидантной активности водных экстрактов некоторых растений Уральского региона. *Индустрия питания*. 2018;3(2):31–38. DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5> EDN: XSVNHN
12. Ушакова Н. А., Бродский Е. С., Козлова А. А., Нифатов А. В. Анаэробная твердофазная ферментация растительных субстратов с использованием *Bacillus subtilis*. *Прикладная биохимия и микробиология*. 2009;45(1):70–77. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11667976> EDN: JVIPFB
13. Ивановский А. А., Латушкина Н. А. Экспериментальный фитобиотик Фитостимплус и его применение телятам. *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2023;24(3):478–486. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486> EDN: FCPIET

### References

1. Zhdanova I. N., Mokrushin V. V., Kuznetsova M. V. Cattle colibacillosis in perm krai: prevalence, sources of the causative agent and its biological characterization. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya = Agricultural Biology*. 2022;57(4):776–790. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2022.4.776rus>
2. Kondrakhin I. P. Dyspepsia in newborn calves – successes and problems. *Veterinariya = Veterinary*. 2003;(1):39–43. (In Russ.).
3. Reid G. Probiotics for urogenital health. *Nutrition in Clinical Care*. 2002;5(1):3–8. DOI: <https://doi.org/10.1046/j.1523-5408.2002.00512.x>
4. 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>
5. 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>
6. Anadyn A. Martnnez-Larranaga M. R., AranzazuMartnnez M. Probiotics for animal nutrition in the European Union. *Regulation and Safety Assessment. Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2006;45(1):91–95. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.yrtph.2006.02.004>
7. Tyukavkina O. N., Krasnoshchekova T. A. Influence of probiotic "Vitacell" on growth parameters and hematological status of calves. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik = Far Eastern Agrarian Herald*. 2019;(4(52)):102–109. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42207782>
8. Caroprese M., Ciliberti M. G., Albenzio M. Chapter 15 – Application of aromatic plants and their extracts in dairy animals. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 261–277. DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00015-7>
9. Pandey A. K., Kumar P., Saxena M. J., Maurya P. Chapter 6 – Distribution of aromatic plants in the world and their properties. *Feed Additives*, Academic Press, 2020. pp. 89–114. DOI: <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814700-9.00006-6>
10. Bagno O. A., Prokhorov O. N., Shevchenko S. A., Shevchenko A. N., Dyadichkina T. V. Use of phytobiotics 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>
11. Tarasov A. V., Bukharinova M. A., Khamzina E. I. Aqueous extracts antioxidant activity determination of some plants from the Ural region. *Industriya pitaniya = Food Industry*. 2018;3(2):31–38. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.29141/2500-1922-2018-3-2-5>
12. Ushakova N. A., Brodskiy E. S., Kozlova A. A., Nifatov A. V. Anaerobic solid-phase fermentation of plant substrates by *Bacillus subtilis*. *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya*. 2009;45(1):70–77. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=11667976>
13. Ivanovsky A. A., Latushkina N. A. Experimental phytobiotic Phytostimplus and its application to calves. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka = Agricultural Science Euro-North-East*. 2023;24(3):478–486. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2023.24.3.478-486>

### Сведения об авторе

✉ 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. 166 а, г. Киров, Российская Федерация, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2208-5175>, e-mail: [alle\\_opl@mail.ru](mailto:alle_opl@mail.ru)

### Information about the authors

✉ Natalya A. Latushkina, PhD in Veterinary Science, researcher, the Laboratory of Veterinary Biotechnology, Federal Agricultural Research Center of the North-East named N. V. Rudnitsky, Lenin str., 166 a, Kirov, Russian Federation, 610007, e-mail: [priemnaya@fanc-sv.ru](mailto:priemnaya@fanc-sv.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2208-5175>, e-mail: [alle\\_opl@mail.ru](mailto:alle_opl@mail.ru)

✉ – Для контактов / Corresponding author

## Эффективность применения *in ovo* декстрина и L-карнитина при тепловом стрессе в инкубационном периоде на показатели эмбрионального развития и рост цыплят-бройлеров

© 2024. А. М. Долгорукова<sup>1</sup>✉, М. С. Тишенкова<sup>1</sup>, И. М. Гупало<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук, г. Сергиев Посад, Российская Федерация

<sup>2</sup>ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», г. Пушкино, Московская область, Российская Федерация

Ситуации перегрева эмбрионов современных мясных кроссов кур часто встречаются, и поиск путей коррекции метаболизма в случае несоответствия потребностей эмбрионов технологическим условиям инкубации является актуальной задачей. Цель исследований – изучение совместного влияния декстрина (как источника глюкозы) и L-карнитина, инъектированных в выводной период в инкубационное яйцо при тепловом стрессе, на инкубационные показатели и раннюю скорость роста цыплят. Исследования проводили в 2020 г. на инкубационных яйцах, эмбрионах и цыплятах финального гибрида кросса Кобб 500. Сформировано по три группы яиц ( $n = 62$ ) для каждого температурного режима инкубации: без инъекций; введение физраствора; инъекция растворами декстрина (10%-й) и L-карнитина (0,6%-й). Физиологический раствор, раствор декстрина и L-карнитина вводили в яйцо на 17-е сутки инкубации, затем инкубацию продолжали в выводных шкафах при нормальной ( $37,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) и повышенной ( $38,5\text{--}39,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) температурах. Повышенная температура инкубации в выводной период снизила в среднем по группам выводимость яиц на 6,1 % и относительную массу цыплят на 0,96 %. Инъекция *in ovo* смеси декстрина и L-карнитина позволила повысить выводимость яиц на 1,6–3,2 %, инкубировавшихся при повышенной и нормальной температуре в выводной период соответственно. Живая масса суточных цыплят, инъектированных *in ovo* раствором декстрина и L-карнитина при нормальном температурном режиме, была статистически значимо выше по сравнению с контрольными группами на 1,3–2,3 % ( $p < 0,05$ ). Неонатальная скорость роста была выше у цыплят, которым в эмбриональном периоде вводили раствор декстрина и L-карнитина как при нормальном, так и повышенном температурных режимах – живая масса цыплят опытных групп в 7-дневном возрасте была выше на 5,9 и 5,1 % по сравнению с контрольными группами соответствующего режима ( $p < 0,05$ ); а у цыплят, выведенных при повышенной температуре, различия сохранялись и в 35-дневном возрасте – 5,7 % ( $p < 0,05$ ). Наблюдали биохимические различия показателей крови эмбрионов контрольных и опытных групп, свидетельствующие об усвоении экзогенных питательных и биологически-активных веществ эмбрионом. Так, в плазме крови 17-суточных эмбрионов, инъектированных *in ovo* раствором декстрина и L-карнитина, статистически значимо повышались уровни глюкозы на 1,6–1,7 % ( $p < 0,001$ ) и триглицеридов на 46,2 % ( $p < 0,05$ ). Таким образом, при инъектировании в инкубируемое яйцо в выводном периоде смеси растворов декстрина и карнитина увеличивалась неонатальная скорость роста цыплят как при нормальном температурном режиме, так и в условиях теплового стресса в выводной период инкубации. Существенного увеличения выводимости цыплят после инъекций изучаемых веществ при тепловом стрессе в выводном периоде инкубации не наблюдали.

**Ключевые слова:** эмбрионы, инкубация, перегрев, бройлеры, рост, биохимические показатели крови

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук (тема № 12101300013-3).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Долгорукова А. М., Тишенкова М. С., Гупало И. М. Эффективность применения *in ovo* декстрина и L-карнитина при тепловом стрессе в инкубационном периоде на показатели эмбрионального развития и рост цыплят-бройлеров. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1163–1170.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1163-1170>

Поступила: 07.08.2024 Принята к публикации: 12.12.2024 Опубликована онлайн: 25.12.2024

## The effect of the *in ovo* injections of dextrin and L-carnitine in conditions of thermal stress during the incubation period on the embryonic development and growth of broiler chickens

© 2024. Anna M. Dolgorukova✉, Maria S. Tishenkova<sup>1</sup>, Irina M. Gupalo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute" of Russian Academy of Sciences, Sergiev Posad, Russian Federation,

<sup>2</sup>All-Russian Research Institute of Animal Breeding, Pushkino, Moscow oblast, Russian Federation

*The embryonic thermal stress due to the overheating is a common problem of the incubation of broiler eggs and hence the search for the methods of metabolic corrections of the related shifts in the embryonic development can be practically actual task. The aim of the research was to study the effect of the in ovo injections of heat stressed chicken embryos with the combination of dextrin (as glucose source) and L-carnitine on the efficiency of incubation and early postnatal growth rate. The study was performed in 2020 on incubated eggs, embryos and chicken of Cobb-500 final hybrid cross. Three groups of eggs (n = 62) were formed for each temperature regime of incubation: without injections, physiological saline injection, injections with the solutions of dextrin (10%) and L-carnitine (0.6%). The eggs were injected with physiological saline, the solutions of dextrin and L-carnitine at the 17<sup>th</sup> day of incubation. Then the incubation was carried out in hatchers at normal temperature (37.2 °C) and increased temperature (38.5–39.0 °C). The increased temperature during hatching period on average among the groups decreased the hatchability of eggs by 6.1 % and relative weight of chicken by 0.96 %. The injection in ovo with the mixture of dextrin and L-carnitine 1.6–3.2 % increased the hatchability of eggs incubated at increased and normal temperature, respectively. The live weight of day-old chicks injected in ovo with the solution of dextrin and L-carnitine at normal temperature was significantly higher by 1.3–2.3 % (p<0.05) as compared with control groups. Neonatal growth rate was higher in chicken injected in embryonic period with dextrin and L-carnitine both at normal and increased temperature – live weight of 7-day chicken of the experimental groups was 5.9 u 5.1 % higher (p<0.05) compared with the control groups of the same temperature regime. In chicken incubated at increased temperature the differences remained to 35 days of age and were 5.7 % (p<0.05). Biochemical variations were noted in blood parameters of embryos of the control and experimental groups that proved the absorption of exogene nutrients and biologically active substances by the embryo. Thus, in blood plasma of 17-day embryos injected in ovo with the solution of dextrin and L-carnitine the concentrations of glucose significantly increased by 1.6–1.7 % (p<0.001) and triglycerides by 46.2 % (p<0.05). So, by injecting the incubated eggs during hatching period with the solution of dextrin and L-carnitine, the neonatal growth rate of chicken raised at normal and increased temperature and during heat stress as well. No significant effect of the injection on the hatchability of eggs in conditions of thermal stress in the hatching period was found.*

**Keywords:** embryos, incubation, overheating, broilers, growth, blood biochemical parameters

**Acknowledgements:** the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of the Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute" of Russian Academy of Sciences, (theme No. 12101300013-3.

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 citations:** Dolgorukova A. M., Tishenkova M. S., Gupalo I. M. The effect of the *in ovo* injections of dextrin and L-carnitine in conditions of thermal stress during the incubation period on the embryonic development and growth of broiler chickens. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1163–1170. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1163–1170>

Received: 07.08.2024

Accepted for publication: 12.12.2024

Published online: 25.12.2024

Интенсивная генетическая селекция кур по экономически важным продуктивным показателям, проводимая в двух противоположных направлениях – на повышение скорости роста и интенсивности яйценоскости – привела к значительным различиям в механизмах роста и развития птиц не только в постнатальном периоде, но и эмбриональном [1]. При анализе данных изменения скорости роста бройлеров в период с 1957 по 2005 год обнаружили, что этот показатель за 5–6 недель жизни увеличился примерно на 400 %. То есть, современные бройлеры достигают «товарного веса» за меньшее время, потребляя меньше корма на единицу прироста массы тела [2, 3]. Современные

кроссы птицы мясного направления продуктивности имеют многочисленные метаболические нарушения, обусловленные высокой скоростью роста. Так, наблюдаются нарушения липидного обмена – значительное увеличение отложения абдоминального жира, жировая дистрофия печени, приводящая к нарушению ее функций [4]. Как показали проведенные ранее исследования, эти изменения возникали уже во время эмбриогенеза – в теле и печени эмбрионов от птицы с высокой скоростью роста откладывалось больше липидов, снижалась жизнеспособность птицы в эмбриональный и постнатальный периоды [5]. Во время эмбриогенеза птиц основным источником энергии



являются липиды яичного желтка [6]. Для получения энергии из липидов необходим процесс бета-окисления жирных кислот, протекающий в матриксе митохондрий. Транспортировку жирных кислот через митохондриальную мембрану осуществляет L-карнитин, синтез которого, по мнению некоторых исследователей, ограничен в период эмбрионального развития кур [7]. В наших предыдущих исследованиях его введение в инкубируемое яйцо мясных кур привело к повышению выводимости [8, 9].

Еще одной особенностью эмбрионального развития мясных кур является повышенная выработка метаболического тепла [10]. Поэтому несоответствие особенностей метаболизма эмбрионов и режима инкубации может спровоцировать ситуацию, когда эмбрионы подвергаются перегреву со всеми вытекающими негативными последствиями: плохая выводимость вследствие гибели эмбрионов перед вылуплением; низкая активность и жизнеспособность суточных цыплят; низкая скорость роста. Для нивелирования отрицательных последствий воздействия теплового стресса важно поддерживать организм наличием доступной энергии и нейтрализовать свободные радикалы. В работе [11] показано, что L-карнитин обладает также антиоксидантными свойствами: применение его в условиях стресса приводило к существенному снижению образования свободных радикалов в митохондриях клеток. Механизм антиоксидантных свойств L-карнитина может быть обусловлен изменением экспрессии генов, что было показано на сельскохозяйственных животных. Вероятно, при тепловом стрессе важное значение имеет супрессивное действие L-карнитина на гены, участвующие в апоптозе [8, 12].

В труде [13] показано, что в условиях температурного стресса эмбрионы испытывают повышенную потребность в глюкозе. Однако, запасы глюкозы в яйце крайне ограничены, и во время процесса вылупления цыпленка критически истощаются. В условиях гипоксии выводного периода источником энергии не могут выступать жирные кислоты, поэтому нехватка глюкозы в это время может привести к гибели эмбрионов [14].

**Цель исследований** – изучить влияние совместно вводимых декстрина (как источника глюкозы) и L-карнитина в выводной период в инкубационное яйцо при тепловом стрессе на инкубационные показатели и постнатальную скорость роста цыплят.

**Научная новизна** – впервые исследовано совместное влияние декстрина как источника экзогенной глюкозы и L-карнитина как биологически активного вещества в условиях температурного стресса на показатели эмбрионального развития цыплят-бройлеров кросса Кобб-500.

**Материал и методы.** Исследования проводили в 2020 г. на эмбрионах бройлеров кур кросса Кобб 500. Возраст кур родительского стада бройлеров, от которых отбирали инкубационное яйцо, составлял 280 дней. Первые 17 суток яйца инкубировали при стабильном температурно-влажностном режиме, согласно методическим рекомендациям<sup>1</sup>. На 17-е сутки инкубации из яиц с живыми эмбрионами было сформировано 6 групп (n = 62 в каждой). В выводном периоде первые три группы инкубировали по стандартному режиму, остальные – при повышенной температуре (38,5–39,0 °C). При каждом температурном режиме по введению экзогенных веществ сформировали группы: 1 и 4 – контрольные – без инъекций; 2 и 5 – вводили стерильный физиологический раствор; 3 и 6 – инъектировали 10%-й раствор декстрина и 0,6%-й раствор L-карнитина (ДК – раствор декстрина и карнитина). Приготовление раствора декстрина производилось по ГОСТ 10163-76<sup>2</sup>. Инъекции проводили в экстраэмбриональную жидкость путем прокалывания скорлупы и подскорлупных оболочек со стороны воздушной камеры на 17-е сутки инкубации. Для проведения биохимических анализов у эмбрионов брали кровь из сонной артерии – через час и 48 часов после проведения инъекций (n = 10). У цыплят кровь брали путем декапитации через два часа после вылупления n = 10). Анализы проводили на фотоэлектрокалориметре КФК-3, использовали наборы фирмы «Vital Development» для определения общего белка, глюкозы, лактата, холестерина в плазме крови.

Схема опыта представлена в таблице 1.

<sup>1</sup>Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы: методические рекомендации. Под общ. ред. В. И. Фисинина. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2008, 119 с.

<sup>2</sup>ГОСТ 10163-76. Реактивы. Крахмал растворимый. Технические условия. М.: ИПК изд-во стандартов, 2002, 7 с. URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294840/4294840467.pdf>



Таблица 1 – Схема опыта /  
Table 1 – The scheme of the experiment

№ группы / Group number	Условия проведения опыта / The conditions of the experiment
<i>Температура инкубации 37,2 °C / Incubation temperature 37.2 °C</i>	
1. Контроль / Control	Интактные / Intact
2.	Инъекция физиологического раствора / Injection with the normal saline
3.	Инъекция раствора: декстрин 50 мг + карнитин 3 мг (ДК) / Injection with solution of dextrin (50 µg) + carnitin (3 µg) (DC)
<i>Температура инкубации 38,5–39,0 °C / Incubation temperature 38.5–39.0 °C</i>	
4. Контроль / Control	Интактные / Intact
5.	Инъекция физиологического раствора / Injection with the normal saline
6.	Инъекция раствора: декстрин 50 мг + карнитин 3 мг (ДК) / Injection with solution of dextrin (50 µg) + carnitin (3 µg) (DC)

\*Примечание: общий объем растворов составил 0,53 мл /  
Note: Injection volume for all treatments was 0.53 mL

По 30 голов цыплят из каждой группы были посажены на выращивание, содержание птицы клеточное, кормление вволю в соответствии с рекомендациями ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела» (ВНИТИП)<sup>3</sup>.

Полученные в экспериментах цифровые данные обработаны методом вариационной статистики согласно t-критерию Стьюдента<sup>4</sup> представлены в таблицах в виде  $M \pm m$ , где  $M$  – среднее арифметическое,  $m$  – ошибка средней арифметической. Достоверными считали различия при  $p \leq 0,05$ .

**Результаты и их обсуждение.** В таблице 2 представлены данные по результатам инкубации яиц, подвергнутых инъектированию

раствором декстрина и L-карнитина (ДК) на 17 сутки инкубации.

Повышенная температура инкубации в выводной период оказала негативное воздействие на выводимость яиц – снизилась в среднем по группам на 6,1 %. В группе эмбрионов, инкубировавшихся при нормальной температуре, инъекция смеси ДК позволила повысить выводимость на 3,2 %, а в группе яиц, инкубировавшихся при повышенной температуре – лишь на 1,6 %. Вероятно, добавление экзогенных источников глюкозы и биологически активного карнитина не смогло нивелировать причины повышенной гибели эмбрионов при температурном стрессе.

Таблица 2 – Влияние декстрина и L-карнитина на результаты инкубации яиц /  
Table 2 – The effect of dextrin and L-carnitine on egg incubation results

Показатель / Parameter	37 °C			38,5–39,0 °C		
	контроль / control	физ. раствор / normal saline	ДК / DC	контроль / control	физ. раствор / normal saline	ДК / DC
Выводимость, % к заложенным живым эмбрионам / Hatchability, % to number of live embryos set	88,7	88,7	91,9	82,3	85,0	83,9
Масса яиц, г / Egg weight, g	62,61±0,20	62,68±0,20	62,39±0,21	62,51±0,21	62,39±0,22	62,45±0,21
Масса суточных цыплят, г / Weight of day-old chicks, g	43,43±0,23 <sup>a</sup>	43,39±0,22 <sup>a</sup>	44,16±0,26 <sup>b</sup>	42,78±0,29	43,00±0,30	43,27±0,24
Масса суточных цыплят, % к массе яйца / Weight of day-old chicks, % to egg weight	69,37	69,23	70,92	68,43	68,93	69,29

Примечания: ДК – декстрин 50 мг + карнитин 3 мг; здесь и далее <sup>a,b,c</sup> – различия достоверны между группами при отсутствии одинаковых букв в верхнем индексе,  $p < 0,05$  /

Notes: DC – dextrin (50 µg) + carnitin (3 µg); the absence of common superscripts in the figures within the rows herein-after indicates the significance of the differences between the treatments,  $p < 0.05$ .

<sup>3</sup>Методическое руководство по кормлению сельскохозяйственной птицы. Под общ. ред. В. И. Фисинина, И. А. Егорова. Сергиев Посад: ВНИТИП, 2015, 199 с. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=24138400>

<sup>4</sup>Лакин Г. Ф. Биометрия. М.: Высшая школа, 1980. 292 с.

Живая масса цыплят в 3-й группе, получавших в эмбриональный период развития раствор декстрина и карнитина, была выше на 1,3–2,3 % по сравнению с контрольными 1 и 4 ( $p<0,05$ ), что также согласуется как с нашими предыдущими исследованиями, так и с работами других ученых [8, 9, 13]. Необходимо отметить, что такое повышение живой массы суточных цыплят имело место только при инкубации в условиях нормальной температуры; добавление экзогенных растворов декстрина и карнитина не повлияло на данный показатель при тепловом стрессе. Повышенная температура оказала негативное влияние и на относительную массу цыплят (выраженную в про-

центах по отношению к массе яиц до инкубации): в среднем по группам была ниже на 0,96 %. Инъекции смеси декстрина и карнитина повысили этот показатель на 1,55 % у цыплят, инкубированных при нормальной температуре, и на 0,86 % – при повышенной температуре по сравнению с соответствующими контрольными группами. Аналогичное действие на данный показатель оказало применение только L-карнитина при тепловом стрессе, полученное в наших предыдущих исследованиях [8].

В таблице 3 представлены данные по выращиванию цыплят по группам до 35-дневного возраста, без учета половой принадлежности цыплят.

Таблица 3 – Влияние декстрина и L-карнитина на возрастную динамику живой массы тела выращиваемых цыплят, г /  
Table 3 – The effect of dextrin and L-carnitine on the age dynamics of live bodyweight (g) in reared chicks

Показатель / Parameter	37 °C			38,5–39,0 °C		
	контроль / control	физ. раствор / normal saline	ДК / DC	контроль / control	физ. раствор / normal saline	ДК / DC
Масса суточных цыплят / LBW of day-old chicks	43,47±0,15 <sup>a</sup>	43,34±0,15 <sup>a</sup>	44,03±0,18 <sup>b</sup>	43,03±0,24	43,16±0,19	43,49±0,21
Масса цыплят в 7-дневном возрасте / LBW at 7 days of age	179,8±3,34 <sup>a</sup>	183,0±4,20 <sup>ab</sup>	190,4±4,01 <sup>b</sup>	180,5±3,39 <sup>a</sup>	179,6±5,31 <sup>ab</sup>	189,8±2,81 <sup>b</sup>
Масса цыплят в 35-дневном возрасте / LBW at 35 days of age	1844,2±42,9	1839,8±35,5	1864,1±30,2	1705,3±27,4 <sup>a</sup>	1718,5±35,1 <sup>ab</sup>	1802,1±40,0 <sup>b</sup>

Скорость роста цыплят, инкубированных при нормальном температурном режиме, была выше в группе, инъецированной раствором декстрина и карнитина в эмбриональный период: живая масса цыплят 3-й группы в 7-дневном возрасте была выше 5,9 % по сравнению с цыплятами первой контрольной группы ( $p<0,05$ ). В период с 7-дневного по 35-дневный возраст выращивания скорость роста цыплят, выведенных при нормальной температуре, выравнивалась и не зависела от воздействия инъекций *in ovo* раствора декстрина и L-карнитина. В противоположность этому, скорость роста цыплят, выводившихся в условиях повышенной температуры, увеличивалась в группе, инъецированной *in ovo* раствором ДК. Как в 7-дневном, так и в 35-дневном возрасте живая масса цыплят была достоверно выше ( $p<0,05$ ) в 6-й группе (получавших смесь ДК) по сравнению с 4-й (интактный контроль) на 5,1–5,7 % соответственно. Аналогичную тенденцию наблюдали и в группах цыплят, инкубированных при нормальном температурном режиме. Полученные результаты согласуются с нашими предыдущими исследова-

ниями, в которых было показано, что скорость роста увеличивалась при воздействии L-карнитином при любом режиме инкубации [5, 8].

Биохимические показатели крови цыплят анализировали только в группах 1, 3, 4, 6: 1 и 3 инкубировали при нормальном режиме инкубации; 4 и 6 – при повышенном режиме; 1 и 4 – интактный контроль; группы 3 и 6 получали раствор карнитина и декстрина в эмбриональный период. В таблице 4 даны биохимические показатели в плазме крови цыплят на выводе.

Как видно из представленных в таблице 4 данных, в крови 17-суточных эмбрионов через час после инъекции раствора декстрина и карнитина статистически значимо ( $p<0,001$ ) повышался уровень глюкозы как в группах, инкубированных при нормальной температуре, так и при повышенной температуре. Аналогичную картину наблюдали и в крови 19-суточных эмбрионов. Эмбрионы, получившие *in ovo* раствор ДК, имели уровень глюкозы в крови выше, различия были статистически значимы при  $p<0,05$  и  $p<0,001$  для групп, инкубированных при нормальной и повышенной температурах соответственно.

Таблица 4 – Влияние декстрина и L-карнитина на динамику биохимических показателей крови эмбрионов и цыплят/

Table 4 – The effect of dextrin and L-carnitine on the dynamics of certain biochemical blood parameters in embryos and hatched chicks

Показатель / Parameter	37 °C		38,5–39,0 °C	
	Контроль / Control	ДК / DC	Контроль / Control	ДК / DC
Общий белок, г/л / Total protein, g/L:				
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	26,14±0,97	25,72±0,65	25,91±1,11	25,27±1,26
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	25,24±1,08	25,64±1,49	24,26±0,96	25,81±0,87
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	34,24±0,88	34,73±1,25	36,10±0,84	35,21±0,91
Глюкоза, ммоль/л / Glucose, mM/L:				
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	6,04±0,34 <sup>a</sup>	7,61±0,29 <sup>b</sup>	6,31±0,31 <sup>a</sup>	7,99±0,48 <sup>b</sup>
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	10,76±0,54 <sup>a</sup>	12,53±0,46 <sup>b</sup>	10,23±0,39 <sup>a</sup>	12,28±0,46 <sup>b</sup>
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	10,83±0,38	11,00±0,68	10,06±0,55	10,42±0,51
Лактат, ммоль/л / Lactate, mM/L:				
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	1,86±0,17	2,12±0,37	2,21±0,21	2,13±0,16
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	1,24±0,16	1,63±0,17	1,09±0,12	1,18±0,13
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	2,36±0,21	2,61±0,23	3,02±0,09	3,16±0,16
Холестерин, ммоль/л / Cholesterol, mM/L:				
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	7,32±0,81	6,85±0,63	7,06±0,51	6,65±0,62
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	7,45±0,52	6,26±0,37	6,29±0,67	5,99±0,31
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	11,13±0,55	11,48±0,46	11,71±1,10	11,09±0,65
Триглицериды, ммоль/л / Triglycerides, mM/L:				
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	1,45±0,18 <sup>a</sup>	2,12±0,25 <sup>b</sup>	1,33±0,31	2,02±0,48
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	1,42±0,18	1,55±0,32	1,24±0,14	1,36±0,17
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	0,89±0,27	0,74±0,12	0,88±0,15	0,82±0,09
Холестерин низкой плотности, ммоль/л / Low density cholesterol, mM/L:		-	-	-
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	-			
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	4,96±0,28	3,95±0,48	4,25±0,51	3,93±0,30
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	7,60±0,82	8,03±0,50	8,10±0,91	7,53±0,59
Холестерин высокой плотности, ммоль/л / High density cholesterol, mM/L:		-	-	-
Эмбрионы 17 суток / Embryos at day 17	-			
Эмбрионы 19 суток / Embryos at day 19	1,84±0,43	1,61±0,19	1,48±0,17	1,44±0,12
Цыплята, вывод / Chicks at hatch	3,13±0,41	3,11±0,24	3,21±0,42	3,19±0,21

В целом можно отметить значительное повышение уровня глюкозы в крови в период с 17 по 19 сутки эмбриогенеза, что связано, видимо, с проклевом внутренней подскорлупной оболочки эмбрионом, снижением уровня гипоксии и активизацией процессов глюко-неогенеза, что также было показано в предыдущих исследованиях [5, 15]. Для эмбрионов, подвергшихся инъекции *in ovo*, также было характерно и повышение уровня триглицеридов в крови, что может свидетельствовать об усилении транспорта липидов желтка [16]. Так, концентрация триглицеридов в крови эмбрионов, инкубировавшихся при нормальной температуре, через час после инъекции *in ovo* раствора декстрина и L-карнитина повышалась, различия были статистически значимы при  $p < 0,05$ . Похожую тенденцию наблюдали и

у эмбрионов, инкубировавшихся при повышенной температуре. Через сутки после инъекции различия сглаживались. По уровню лактата, общего белка, общего холестерина и различных его фракций, статистически значимых различий не наблюдали. Таким образом, по характеру изменений в биохимических параметров в крови можно заключить, что эмбрионы могут успешно использовать декстрин в качестве источника глюкозы в период гипоксии, возникающей в выводной период инкубации и усиливающейся при повышенных температурах инкубатора, а L-карнитин, по-видимому, способствует усилению транспорта триглицеридов из желточного мешка.

**Выводы.** По полученным в настоящем исследовании результатам можно сделать следующие выводы:

1. Повышенная температура инкубации в выводной период оказала негативное воздействие на выводимость яиц – была ниже в среднем по группам на 6,1 %, относительная масса цыплят – ниже в среднем по группам на 0,96 %.

2. Инъекция *in ovo* смеси декстрина и L-карнитина позволила повысить выводимость яиц на 1,6–3,2 %, инкубировавшихся при повышенной и нормальной температуре в выводной период соответственно.

3. Живая масса суточных цыплят, инъектированных *in ovo* раствором декстрина и L-карнитина при нормальном температурном режиме, была статистически значимо выше по сравнению с контрольными группами – на 1,3–2,3 % ( $p < 0,05$ ).

4. Неонатальная скорость роста была выше у цыплят, которым в эмбриональном периоде вводили раствор декстрина и L-карнитина как при нормальном, так и при повышенном температурных режимах – живая масса цыплят опытных групп в 7-дневном возрасте была выше на 5,9 и 5,1 % по сравнению с контрольными соответствующего режима ( $p < 0,05$ ); а у цыплят, выведенных при повышенной температуре, различия сохранялись и в 35-дневном возрасте – 5,7 % ( $p < 0,05$ ).

5. В плазме крови 17-суточных эмбрионов, инъектированных *in ovo* раствором декстрина и L-карнитина статистически значимо повышались уровни глюкозы на 1,6–1,7 % ( $p < 0,001$ ) и триглицеридов – на 46,2 % ( $p < 0,05$ ), что свидетельствует о способности эмбрионов использовать экзогенные источники глюкозы и L-карнитина.

Таким образом, можно заключить, что инъекции эмбрионам смеси экзогенных декстрина и L-карнитина в выводной период инкубации оказали положительное влияние на показатели неонатального роста цыплят как при нормальной температуре, так и в условиях теплового стресса и не повлияли существенно на выживаемость эмбрионов при перегреве. Тем не менее, повышение в крови эмбрионов уровня глюкозы и триглицеридов свидетельствует о доступности эмбрионам экзогенных источников энергии. Дальнейшее изучение особенностей биохимии эмбрионального развития и их взаимосвязи с практически значимыми инкубационными показателями, такими как выводимость, позволит разрабатывать новые пути коррекции эмбрионального развития современных высокопродуктивных кроссов, а также адаптировать технологические аспекты их инкубации.

#### References

1. Buzala M., Janicki B., Czarnecki R. Consequences of different growth rates in broiler breeder and layer hens on embryogenesis, metabolism and metabolic rate: A review. Poultry Science. 2015;94(4):728–733. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps/pev015>
2. Druyan S. The effects of genetic line (broilers vs. layers) on embryo development. Poultry Science. 2010;89(7):1457–1467. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2009-00304>
3. Zuidhof M. J., Schneider B. L., Carney V. L., Korver D. R., Robinson F. E. Growth, efficiency, and yield of commercial broilers from 1957, 1978, and 2005. Poultry Science. 2014;93(12):2970–2982. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2014-04291>
4. Журавлев И. В., Долгорукова А. М., Саламатин А. В., Фисинин В. И. Некоторые особенности метаболизма аминокислот и липидов при развитии эмбрионов мясных кур в яйцах с разной величиной массы желтка. Онтогенез. 2005;36(1):3–8. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9149033> EDN: HSFKSV
5. Zhuravlev I. V., Dolgorukova A. M., Salamatin A. V., Fisinin V. I. Some features of amino acid and lipid metabolism in embryos of meat-type fowl with different yolk weight. Ontogenez. 2005;36(1):3–8. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=9149033>
6. Долгорукова А. М., Зотов А. А., Гупало И. М., Мелехина Т. А., Михалева М. С., Рузакова Е. В. Совместное влияние углеводов и L-карнитина на эмбриональное развитие и постнатальную скорость роста цыплят-бройлеров. Птицеводство. 2019;(11-12):63–67. DOI: <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-63-67> EDN: PKTVBA
7. Dolgorukova A. M., Zotov A. A., Gupalo I. M., Melekhina T. A., Mikhaleva M. S., Ruzakova E. V. The effects of combined *in ovo* injections of carbohydrates and L-carnitine on the embryonic development and posthatch growth rate in broiler chicks. Ptitsevodstvo. 2019;(11-12):63–67. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.33845/0033-3239-2019-68-11-12-63-67>
8. Moran E. T. Nutrition of the Developing Embryo and Hatchling. Poultry Science. 2007;86(5):1043–1049. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.5.1043>
9. Golzar Adabi Sh., Cooper R. G., Ceylan N., Corduk M. L-carnitine and its functional effects in poultry nutrition. World's Poultry Science Journal. 2011;67(2):277–296. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933911000304>

8. Долгорукова А. М. Эффективность применения L-карнитина при тепловом стрессе в выводном периоде инкубации. Новое в технике и технологии переработки птицы и яиц: сб. научн. тр. Под ред. В. В. Гущина. Ржавки, 2017. Вып. 46. С. 115–121. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32602931> EDN: VYTTNB

Dolgorukova A. M. The effectiveness of the use of L-carnitine in thermal stress during the incubation period. New in the technique and technology of poultry and egg processing: collection of scientific articles. *Pod red. V. V. Gushchina*. Rzhavki, 2017. Iss. 46. pp. 115–121. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32602931>

9. Долгорукова А. М. Влияние экзогенного карнитина на жизнеспособность эмбрионов и рост цыплят. Птицеводство. 2017;(1):22–25. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28150454> EDN: XSAKVR

Dolgorukova A. M. The influence of exogenous carnitine on livability of chicken embryos and subsequent growth of chicks. *Ptitsevodstvo*. 2017;(1):22–25. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28150454>

10. Tong Q., Romanini C. E., Exadaktylos V., Bahr C., Berckmans D., Etteradossi N., et al. Embryonic development and the physiological factors that coordinate hatching in domestic chickens. *Poultry Science*. 2013;92(3):620–628. DOI: <https://doi.org/10.3382/ps.2012-02509>

11. Cital M., Gunes V., Atakisi O., Ozcan A., Tuzcu M., Dogan A. Protective effect of L-carnitine against oxidative damage caused by experimental chronic aflatoxicosis in quail (*Coturnix coturnix*). *Acta Veterinaria Hungarica*. 2005;53(3):319–324. DOI: <https://doi.org/10.1556/avet.53.2005.3.5>

12. Surai P. F. Antioxidant Action of Carnitine: Molecular Mechanisms and Practical Applications. *EC Veterinary Science*. 2015;2:66–84. URL: [https://www.feedfood.co.uk/download/Carnitine\\_2015.pdf](https://www.feedfood.co.uk/download/Carnitine_2015.pdf)

13. Molenaar R., Van den Borne J. J. G. C., Hazejager E., Kristensen N. B., Heetkamp M. J. W. 2013. High environmental temperature increases glucose requirement in the developing chicken embryo. *PLoS One*. 2013;8(4): e59637. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0059637>

14. Lu J. W., Mc Murtry J. P., Coon C. N. Developmental changes of plasma insulin, glucagon, insulin-like growth factors, thyroid hormones, and glucose concentrations in chick embryos and hatched chicks. *Poultry Science*. 2007;86(4):673–683. DOI: <https://doi.org/10.1093/ps/86.4.673>

15. De Oliveira J. I., Uni Z., Ferket P. R. Important metabolic pathways in poultry embryos prior to hatch. *World's Poultry Science Journal*. 2008;64(4):488–499. DOI: <https://doi.org/10.1017/S0043933908000160>

16. Speake B. K., Murphy A. M. B., Noble R. C. Transport and transformation of yolk lipids during development of the avian embryo. *Progress in Lipid Research*. 1998;37(1):1–32. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0163-7827\(97\)00012-X](https://doi.org/10.1016/S0163-7827(97)00012-X)

#### **Сведения об авторах**

✉ **Долгорукова Анна Михайловна**, кандидат биол. наук, ведущий научный сотрудник, зав. отделом инкубации, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук, ул. Птицеградская, д.10, г. Сергиев Посад, Российская Федерация, 141311, e-mail: [vnitip@vnitip.ru](mailto:vnitip@vnitip.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9958-8777>, e-mail: [anna.dolg@mail.ru](mailto:anna.dolg@mail.ru)

**Тищенко Мария Сергеевна**, младший научный сотрудник отдела инкубации, ФГБНУ Федеральный научный центр «Всероссийский научно-исследовательский и технологический институт птицеводства» Российской академии наук, ул. Птицеградская, д. 10, г. Сергиев Посад, 141311, Российская Федерация, e-mail: [vnitip@vnitip.ru](mailto:vnitip@vnitip.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2911-5640>

**Гупало Ирина Михайловна**, ведущий научный сотрудник отдела селекции, разведения свиней и информационного обеспечения племенного свиноводства, ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела», ул. Ленина, д. 13, пос. Лесные Поляны, г. Пушкино, Российская Федерация, 141212, e-mail: [vniplem@mail.ru](mailto:vniplem@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3728-7639>

#### **Information about the authors**

✉ **Anna M. Dolgorukova**, PhD in Biological Science, leading researcher, Head of the Incubation Department, Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute" of Russian Academy of Sciences, 10 Ptitsegradskaya str., Sergiev Posad, Russian Federation, 141311, e-mail: [vnitip@vnitip.ru](mailto:vnitip@vnitip.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9958-8777>, e-mail: [anna.dolg@mail.ru](mailto:anna.dolg@mail.ru)

**Maria S. Tishenkova**, junior researcher, the Incubation Department, Federal Scientific Center "All-Russian Research and Technological Poultry Institute" of Russian Academy of Sciences, 10 Ptitsegradskaya str., Sergiev Posad, Russian Federation, 141311, e-mail: [vnitip@vnitip.ru](mailto:vnitip@vnitip.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2911-5640>

**Irina M. Gupalo**, leading researcher, the Department of Breeding, Pig Raising and Information Support for Stud Swine Breeding, All-Russian Research Institute of Animal Breeding, Lenin St., 13, village Lesnye Polyany, Pushkino, Russian Federation, 141212, e-mail: [vniplem@mail.ru](mailto:vniplem@mail.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3728-7639>

✉ – Для контактов / Corresponding author



# МЕХАНИЗАЦИЯ, ЭЛЕКТРИФИКАЦИЯ, АВТОМАТИЗАЦИЯ / MECHANIZATION, ELECTRIFICATION, AUTOMATION

<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1171-1178>

УДК 631.363:535-15



## Применимость метода инфракрасной спектроскопии среднего диапазона для установления качественных показателей комбикорма

© 2024. М. В. Беляков✉, Е. А. Никитин

ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»,  
г. Москва, Российская Федерация

*Цель исследований – изучение функциональных возможностей средневолновой инфракрасной спектроскопии для определения качественных показателей концентрированного комбикорма. В работе исследовали содержание питательных веществ (суммарное количество аминокислот и углеводов) методом отражательной инфракрасной спектроскопии в 4-компонентном комбикорме и сопоставляли с результатами химического анализа, выполняемого арбитражными методами. Исследованы оптические свойства и проведен сравнительный анализ всех 4 составляющих комбикорма (молотое зерно кукурузы, жом свекловичный, барда кукурузная, шрот рапсовый). Впервые получены спектральные характеристики поглощения комбикорма и его компонентов в средней инфракрасной области, выявлен репрезентативный диапазон для определения показателей качества. Инфракрасные спектры были получены с использованием микроскопа МИКРАН-3, соединенного с ИК-Фурье спектрометром СИМЕКС ФТ-801 с применением алгоритма Савицкого-Голея. Установлено, что спектральные характеристики поглощения  $\alpha(k)$  имеют область максимума 710–1275 см<sup>-1</sup> для всех компонентов комбикорма. Сам максимум находится в диапазоне 1060–1090 см<sup>-1</sup>. Характеристики качественно схожи, но наибольшее отражение в области максимума характерно для молотой кукурузы, наименьшее – для рапсового шрота. Получены интегральные параметры отражения в областях поглощения белков, жиров и углеводов с погрешностью не более 7,2 %. Свекловичный жом поглощает больше других компонентов в диапазоне 800–1170 см<sup>-1</sup>. У кукурузной барды и молотой кукурузы поглощение примерно совпадает для каждого диапазона. В областях поглощения белков значение коэффициента поглощения существенно меньше, и различие в абсолютных величинах менее заметно. Предполагается, что отражение в области максимума характеристики  $\alpha(k)$  наиболее зависит от содержания углеводов в исследуемых компонентах.*

**Ключевые слова:** компоненты комбикорма, неразрушающие методы контроля, оптическое излучение

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2022-0014).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Беляков М. В., Никитин Е. А. Применимость метода инфракрасной спектроскопии среднего диапазона для установления качественных показателей комбикорма. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1171–1178. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1171-1178>

Поступила: 19.06.2024

Принята к публикации: 28.11.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## The applicability of the mid-range infrared spectroscopy method to establish the quality indicators of compound feed

© 2024. Mikhail V. Belyakov✉, Evgeny A. Nikitin

Federal Scientific Agroengineering Center VIM, Moscow, Russian Federation

*The purpose of the research is to study the functional capabilities of medium-wave infrared spectroscopy to determine the quality indicators of concentrated compound feed. The study investigated the nutrient content (the total number of amino acids and carbohydrates) by reflective infrared spectroscopy in 4-component compound feed and compared with the results of chemical analysis performed by arbitration methods. The optical properties were investigated and a comparative analysis of all 4 components of the feed was carried out (ground corn grain, beet pulp, corn bard, rapeseed meal). For the first time, spectral absorption characteristics of compound feed and its components in the mid-infrared area were obtained and a representative range for determining quality indicators was revealed. The infrared spectra were obtained using a MICRAN-3 microscope connected to the SIMEX FT-801 infrared Fourier spectrometer using the Savitsky-Goley algorithm. It has been established that the spectral absorption characteristics of  $\alpha(k)$  have a maximum range of 710–1275 cm<sup>-1</sup> for all feed components. The maximum*

itself is at 1060–1090  $\text{cm}^{-1}$ . The characteristics are qualitatively similar, but the largest reflection in the maximum area is characteristic of ground corn, and the smallest is for rapeseed meal. Integral reflection parameters were obtained in the absorption areas of proteins, fats and carbohydrates with an error of no more than 7.2 %. Beet pulp absorbs more than other components in the range of 800–1170  $\text{cm}^{-1}$ . For corn bard and ground corn, the absorption is approximately the same for each range. In the areas of protein absorption, the value of the absorption coefficient is significantly lower and the difference in absolute values is less noticeable. It is assumed that the reflection of the  $a(k)$  characteristic in the maximum area is most dependent on the carbohydrate content in the studied components.

**Keywords:** compound feed components, non-destructive testing methods, optical radiation

**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 No. FGUN-2022-0014).

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

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

**For citation:** Belyakov M. V., Nikitin E. A. The applicability of the mid-range infrared spectroscopy method to establish the quality indicators of compound feed. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1171–1178. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1171-1178>

Received: 19.06.2024

Accepted for publication: 28.11.2024

Published online: 25.12.2024

Несмотря на стремительный рост приоритетов развития пищевой промышленности в пользу продукции растительного происхождения, животноводство, в частности содержание крупного рогатого скота в целях получения мясной и молочной продукции, по сей день остается приоритетным направлением сельскохозяйственной деятельности большинства стран мира, формирующим продовольственную безопасность [1, 2].

Сегодня современные животноводческие комплексы по получению молока и мясной продукции – это предприятия с высоким уровнем автономности процессов, в которых задействованы инструменты цифровизации, но это не отменяет необходимость участия человека на 100 %. В пристальном внимании нуждаются процессы, связанные с кормлением, которые формируются из длинной цепочки последовательных технологических операций, выполняемых механизированными средствами, роботами, а также непосредственно человеком [3, 4].

В первую очередь вопросы планирования объемов заготовки кормовой базы, а также составление рациона кормления животных на основе химического анализа требуют непосредственного участия человека в принятии решения [5].

Сегодня составление рациона на современной ферме начинается с проведения предварительных анализов корма на предмет содержания сухого вещества, протеинов, жиров, углеводов и других питательных элементов, которые определяют продуктивность поголовья и влияют на его здоровье [6, 7].

Большая часть предприятий определяет питательную ценность приобретаемых и выращиваемых кормов с использованием услуг сторонних организаций (специализированные

лаборатории и консалтинговые компании), которые, в свою очередь, решают эти задачи трудоемкими арбитражными химическими методами, посредством титриметрических и хроматографических методов с использованием бюреток, автотитраторов с каруселью титруемых образцов, газовых и жидкостных хроматографов, они сложны и относятся к методам разрушающего контроля, требуют сложнейшего аппаратного оформления, значительных трудозатрат, большого количества реактивов и расходных материалов, что в конечном итоге определяет себестоимость производства молока и говядины [8, 9].

Гипотеза настоящего исследования заключается в определении возможности использования метода инфракрасной спектроскопии для экспресс-диагностики питательной ценности концентрированных комбикормов и их составляющих. ИК-спектроскопия уже применяется в приборах медицинского назначения, дефектоскопах и другом лабораторном оборудовании. Существуют и оптические анализаторы корма, функционирующие на основе подобного метода, однако их функциональные параметры ограничивают их широкую применимость в сельском хозяйстве. Ввиду использования энергосберегающих галогенных ламп в качестве оптического источника излучения все приборы имеют стационарное исполнение и вместе с этим остро стоит вопрос миниатюризации и использования диодных источников излучения [10].

Настоящее исследование направлено на выявление оптических свойств методами ИК-спектроскопии в продуктах переработки, используемых в комбикормовой промышленности. Формирование теоретических основ построения новой лабораторной базы с унифицированным многоцелевым назначением.

**Цель исследований** – изучение функциональных возможностей средневолновой инфракрасной спектроскопии для определения качественных показателей концентрированного комбикорма.

**Научная новизна** – впервые получены спектральные характеристики поглощения комбикорма и его компонентов в средней инфракрасной области, выявлен репрезентативный диапазон для определения показателей качества.

**Материал и методы.** Для работы использовали 4-компонентный концентрированный комбикорм, изготовленный в виде гранул (рис. 1), с использованием шрота рапсового 27 % (отход, полученный в ходе экстракции масла, прошедший тостирование – дополнительную влаготепловую обработку паром под давле-

нием), измельченного зерна кукурузы 38 %, измельченного свекловичного жома 20 %, барды кукурузной 15 % (побочный продукт заключительного этапа спиртового производства).

Измельчение компонентов комбикорма производилось до видимой однородности в лабораторных условиях с использованием лабораторной мельницы.

Исследование предполагало сопоставление фактического содержания питательных веществ (аминокислот и углеводов) в комбикорме и его компонентах арбитражными методами (табл. 1) с оптическими свойствами, которые регистрировались посредством метода отражательной инфракрасной спектроскопии на инфракрасном микроскопе МИКРАН-3 (рис. 2) [11].

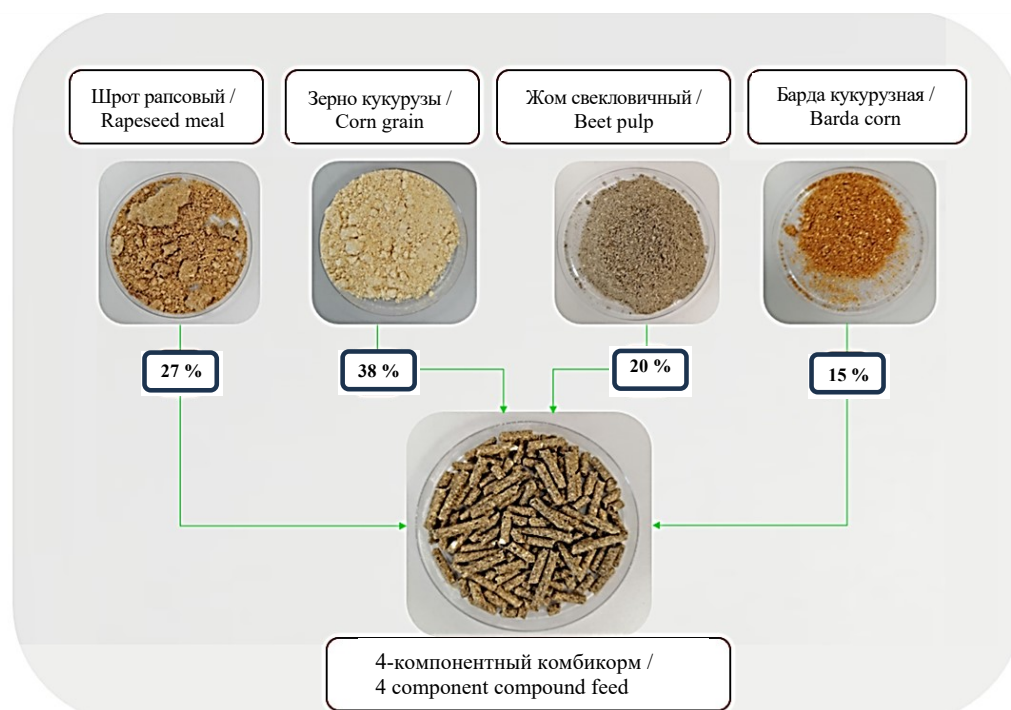


Рис. 1. Внешний вид и состав комбикорма /

Fig. 1. Appearance and composition of compound feed

Таблица 1 – Содержание аминокислот и углеводов в комбикорме и его компонентах, мг/100 г /

Table 1 – The content of amino acids and carbohydrates in compound feed and its components, mg/100 g

Образец / Sample	Тирозин / Tyrosine	Фенилаланин / Phenylalanine	Углеводы (сахароза, фруктоза, глюкоза) / Carbohydrates (sucrose, fructose, glucose)
Жом свекловичный / Beet pulp	811,0±57,6	1424,3±106,8	138,0±17,9
Барда кукурузная / Barda corn	1049,9±74,5	1280,8±96,1	130,5±17,0
Кукуруза молотая / Ground corn	333,4±23,7	413,8±31,0	2020,3±262,6
Шрот рапсовый / Rapeseed meal	1143,3±81,2	1678,0±125,9	105,0±13,7
Комбикорм / Compound feed	916,7±65,1	1352,1±101,4	137,8±17,9



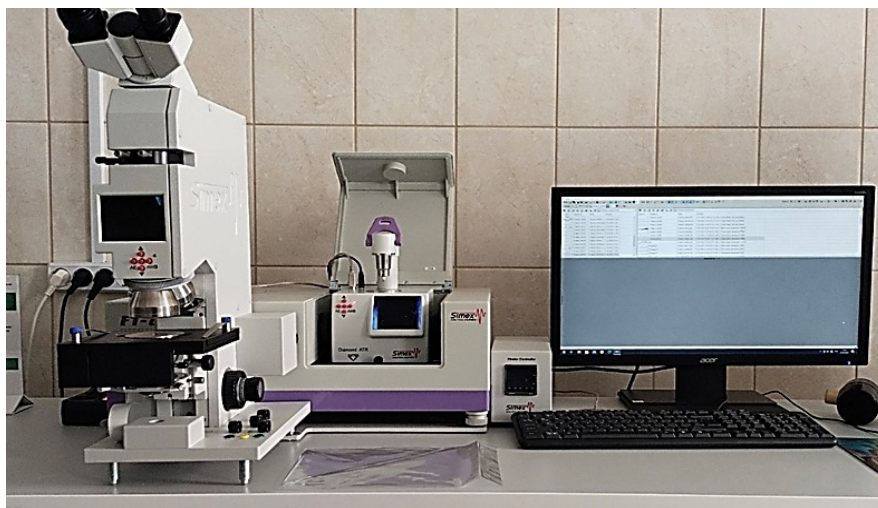


Рис. 2. Внешний вид  
спектроскопического  
комплекса /  
Fig. 2. The appearance  
of the spectroscopic complex

Инфракрасные спектры получены с использованием МИКРАН-3, соединенного с ИК-Фурье спектрометром СИМЕКС ФТ-801 в режиме диффузного отражения. Обработку инфракрасных спектров производили с помощью фирменного программного обеспечения компании Симекс ZaIR 3.5. Математическая обработка выполнена в Microsoft Excel, Origin 8 Pro с применением алгоритма Савицкого-Голея.

Для получения репрезентативных градуировочных кривых оптические измерения производились с 50-кратной повторностью для каждого компонента и комбикорма в частности.

Качество проведения оптического сигнала определяли четкостью микрофотографии измеряемого образца, которая характеризует плотность прилегания измерительной головки к образцу и отображает её микроструктуру.

**Результаты и их обсуждение.** Проведены оптические измерения компонентов концентрированного комбикорма с использованием МИКРАН-3, соединенного с ИК-Фурье спектрометром СИМЕКС ФТ-801 в режиме диффузного отражения (рис. 3).

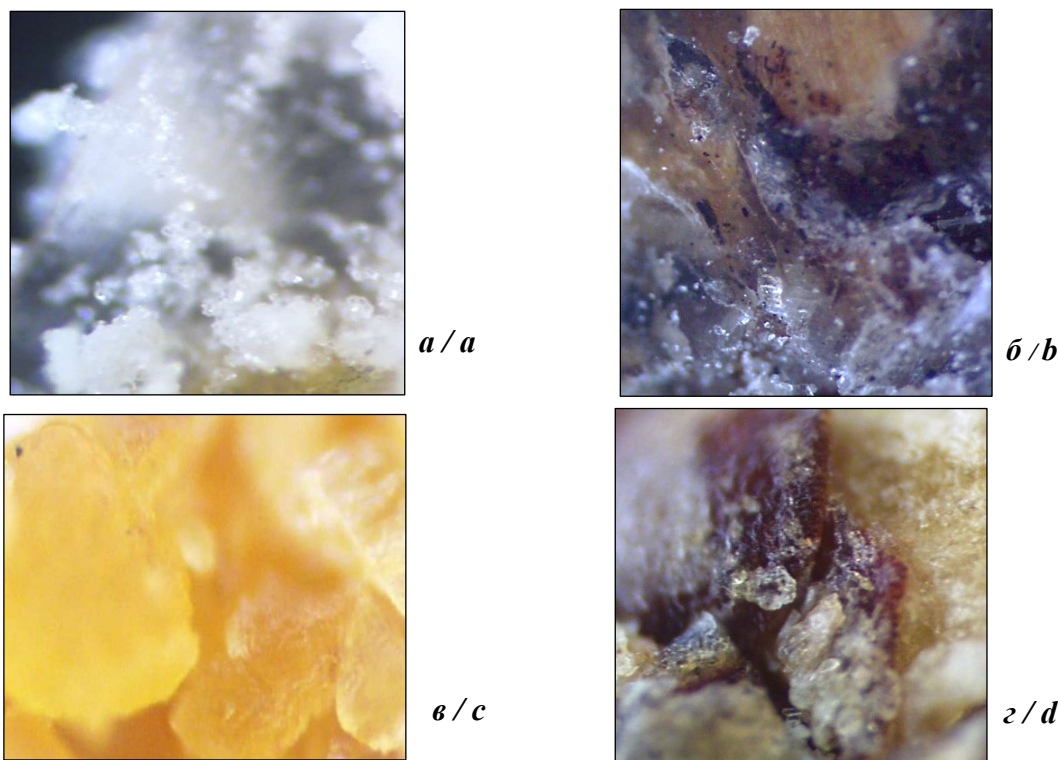


Рис. 3. Микрофотографии основных компонентов комбикорма: *a* – микроструктура кукурузы, *б* – микроструктура жомы, *в* – микроструктура барды, *г* – микроструктура шрота /

Fig. 3. Micrographs of the main components of compound feed: *a* – microstructure of corn, *b* – microstructure of pulp, *c* – microstructure of barda, *d* – microstructure of meal

Полученные микрофотографии каждого из образцов с 20-кратным увеличением при плотном прилегании измерительной головки к образцу отображают состояние микро-структуры компонентов

Анализ микроструктуры компонентов и концентрированного комбикорма (рис. 4) также позволяет оценивать однородность. Например, у кукурузной барды однородность чётко выраженная, в меньшей степени она проявляется

у размолотой кукурузы. Для остальных составляющих однородность существенно меньше, что вызвано разнородной структурой материала первичной переработки.

В результате исследования оптических свойств были получены усредненные по результатам десяти измерений спектральные характеристики поглощения  $\alpha(k)$ , представленные на рисунке 5.

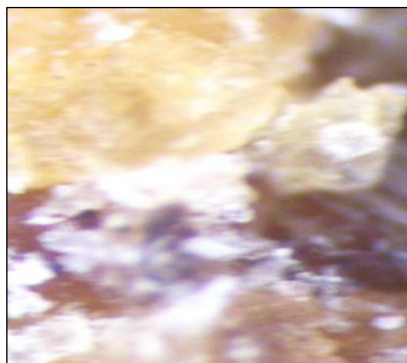


Рис. 4. Микрофотография комбикорма /  
Fig. 4. Micrography of compound feed

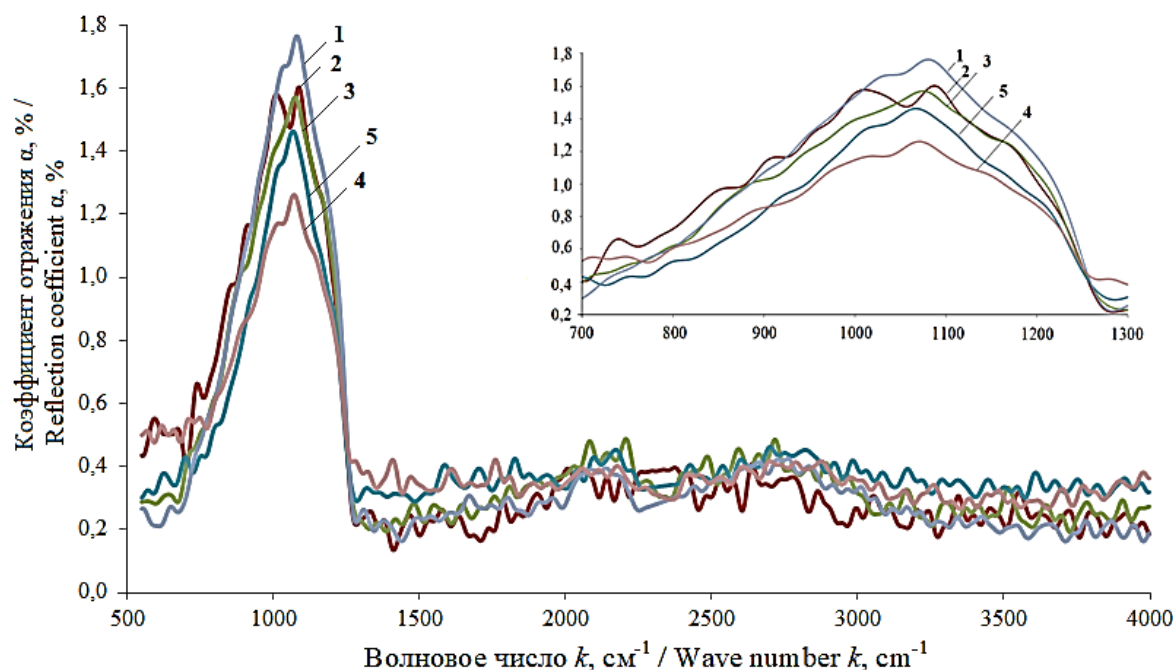


Рис. 5. Спектральные характеристики поглощения комбикорма (5) и его составляющих: молотой кукурузы (1), свекловичного жома (2), кукурузной барды (3) и рапсового шрота (4) /

Fig. 5. Spectral absorption characteristics of compound feed (5) and its components: ground corn (1), beet pulp (2), corn bard (3) and rapeseed meal (4)

Зависимости  $\alpha(k)$  для всех образцов имеют область максимума 710–1275  $\text{см}^{-1}$ , что соответствует диапазону длин волн примерно 8–12  $\mu\text{м}$ .

Сам максимум находится в интервале 1060–1090  $\text{см}^{-1}$ . Сравнивая характеристики, можно заметить, что они качественно схожи, но

наибольшее отражение в области максимума характерно для молотой кукурузы.

Меньшее значение максимума наблюдали для жома и барды, близкое к ним – для комбикорма в целом, а наименьшее отражение характерно для рапсового шрота.



Имеется широкая сложная полоса в районе 660–1294 см<sup>-1</sup>, соответствующая колебаниям связи R-OH первичных, вторичных, третичных спиртов и простых эфиров:

- 660 см<sup>-1</sup> и 730 см<sup>-1</sup> – колебаниям связи R-OH;
- 1007 см<sup>-1</sup> и 1035 см<sup>-1</sup> – колебаниям связи R-OH первичных спиртов;
- 1080 см<sup>-1</sup> – колебаниям связи R-OH первичных спиртов и простых эфиров;
- 1105 см<sup>-1</sup> – колебаниям связи R-OH третичных спиртов.

Также выделяются отдельные полосы 1294, 1333, 1387 см<sup>-1</sup>, соответствующие колебаниям связи R-OH вторичных спиртов, жиров; полосы 1470 см<sup>-1</sup> – колебаниям связи R-OH третичных спиртов, 1580 см<sup>-1</sup> – колебаниям связи R-OH третичных спиртов, жиров, 1632 см<sup>-1</sup> – колебаниям непереносимых жирных кислот и NH<sub>3</sub><sup>+</sup> аминокислот<sup>1</sup>.

Таким образом, в спектре комбикорма и его составляющих присутствуют полосы, позволяющие определить суммарное количество белка, жиров и углеводов. При наложении друг на друга полосы образуют суперпозицию, что проявляется в спектре, полученном на рисунке 5.

Для спектра волновых чисел были определены интегральные коэффициенты поглощения в интервале 710–1275 см<sup>-1</sup>:

$$A = \int_{k_1}^{k_2} \alpha(k) dk, \quad (1)$$

где  $\alpha(k)$  – спектральная характеристика поглощения;  $k_1, k_2$  – границы частотного спектрального диапазона.

Результаты расчета интегральных коэффициентов поглощения, а также погрешности их определения представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Интегральные коэффициенты поглощения (A) и погрешности (ε) их определения для комбикорма и его составляющих, %**

Образец / Sample	A	ε
Жом свекловичный / Beet pulp	5,02	2,4
Барда кукурузная / Barda corn	4,83	7,2
Кукуруза молотая / Ground corn	5,21	2,6
Шрот рапсовый / Rapeseed meal	4,64	5,3
Комбикорм / Compound feed	4,19	3,8

В областях поглощения углеводов, жиров и белков были определены интегральные коэффициенты поглощения  $A_k$ . Результаты расчетов представлены в таблицах 3 и 4.

Из данных таблицы 3 видно, что жом свекловичный поглощает больше других ком-

понентов в диапазоне 800–1170 см<sup>-1</sup>, рапсовый шрот – наоборот, поглощает больше в диапазоне 1260–1410 см<sup>-1</sup>, где отличие  $A_k$  от других компонентов составляет 1,15–1,73 раза. У кукурузной барды и молотой кукурузы поглощение примерно совпадает для каждого диапазона.

**Таблица 3 – Интегральные коэффициенты ( $A_k$ , %) в областях поглощения ( $k_1 - k_2$ ) углеводов / Table 3 – Integral coefficients ( $A_k$ , %) in the absorption areas ( $k_1 - k_2$ ) of carbohydrates**

Образец / Sample	Область поглощения углеводов, см <sup>-1</sup> / Area of carbohydrate absorption, cm <sup>-1</sup>						
	800–920	1030–1125	1060–1150	1075–1100	1100–1170	1260–1350	1310–1410
Жом свекловичный / Beet pulp	1,08	1,58	1,42	0,46	1,01	0,22	0,23
Барда кукурузная / Barda corn	1,07	1,47	1,33	0,42	0,97	0,21	0,22
Кукуруза молотая / Ground corn	1,03	1,37	1,27	0,40	0,92	0,26	0,30
Шрот рапсовый / Rapeseed meal	0,91	1,15	1,05	0,33	0,77	0,36	0,38
Комбикорм / Compound feed	0,84	1,34	1,19	0,38	0,84	0,29	0,33

<sup>1</sup>Тарасевич Б. Н. ИК спектры основных классов органических соединений: справочные материалы. М.: МГУ, 2012. 54 с.

Таблица 4 – Интегральные коэффициенты ( $A_k$ , %) в областях поглощения ( $k_1$ – $k_2$ ) белков и жиров  
Table 4 – Integral coefficients ( $A_k$ , %) in the absorption areas ( $k_1$ – $k_2$ ) of proteins and fats

Образец / Sample	Область поглощения углеводов, $\text{см}^{-1}$ / Area of carbohydrate absorption, $\text{cm}^{-1}$			
	1550–1650	1485–1550	1610–1660	3030–3130
Жом свекловичный / Beet pulp	0,26	0,16	0,14	0,29
Барда кукурузная / Barda corn	0,26	0,17	0,14	0,28
Кукуруза молотая / Ground corn	0,31	0,21	0,16	0,38
Шрот рапсовый / Rapeseed meal	0,36	0,22	0,19	0,33
Комбикорм / Compound feed	0,37	0,21	0,18	0,37

В целом между компонентами (например, между жомом и шротом, бардой и молотой кукурузой) прослеживается интересная тенденция: если в области  $800$ – $1170 \text{ см}^{-1}$  поглощение больше другого, то в области  $1260$ – $1410 \text{ см}^{-1}$  поглощение меньше, и наоборот. Поглощение комбикорма в «углеводных» областях примерно соответствует усредненному значению поглощения компонентов, кроме области  $800$ – $920 \text{ см}^{-1}$ .

Из таблицы 4 следует, что в «белковых» и «жировых» областях поглощение существенно меньше и различие в абсолютных величинах менее заметно. Из компонентов комбикорма наибольшим поглощением обладает рапсовый шрот.

В целом отражение в области  $710$ – $1275 \text{ см}^{-1}$  и ее максимум наиболее зависят от содержания углеводов в исследуемых компонентах.

Однако чувствительность отражательных свойств очень низкая: при изменении количественного содержания углеводов в 19 раз (от шрота к кукурузе) максимум отражения меняется незначительно – в 1,3 раза, а интегральные коэффициенты отражения – на более чем на 22 %. Вместе с тем, несмотря на

выявленные недостатки у метода ИК-спектроскопии имеются такие достоинства, как простота получения отраженного фотосигнала и простота приборной реализации метода.

#### Выводы.

1. В результате проведения исследований было выявлено, что наиболее репрезентативным диапазоном излучения для экспресс-определения протеина в концентрированных комбикормах с использованием спектроскопии является область  $710$ – $1275 \text{ см}^{-1}$ . В более длинноволновом диапазоне имеется сильная зашумленность регистрируемого сигнала и отсутствие системности изменения спектров.

2. Интегральные оптические параметры отражения имеют низкую чувствительность к содержанию углеводов и основных аминокислот в компонентах комбикорма.

3. Результаты полученных исследований позволяют определить информативный спектральный диапазон для последующей разработки аналитической приборной базы для сельского хозяйства с использованием более портативных приборов, а также, возможно, сократить время анализа.

#### References

1. Fountas S., Carli G., Sorensen C. G., Tsiropoulos Z., Cavalaris C., Vatsanidou A., et al. Farm management information systems: Current situation and future perspectives. Computers and electronics in agriculture. 2015;115:40–50. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2015.05.011>
2. Keim J. P., Charles H. B., Alomar D. Prediction of crude protein and neutral detergent fibre concentration in residues of in situ ruminal degradation of pasture samples by near-infrared spectroscopy (NIRS). Animal production science. 2015;56(9):1504–1511. DOI: <https://doi.org/10.1071/AN14822>
3. Modrono S., Soldado A., Martinez-Fernandez A., de la Roza-Delgado B. Handheld NIRS sensors for routine compound feed quality control: Real time analysis and field monitoring. Talanta. 2017;162:597–603. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2016.10.075>
4. Matuszek D. Fluorescence method for the assessment of homogeneity of granular mixtures. Journal of Central European Agriculture. 2017;18(4):851–863. DOI: <https://doi.org/10.5513/JCEA01/18.4.1966>
5. Matuszek D., Bilos L. Use of fluorescent tracers for the assessment of the homogeneity of multicomponent granular feed mixtures. Przemysl Chemiczny. 2017;96(11):2356–2359. DOI: <https://doi.org/10.15199/62.2017.11.27>

6. Buza M. H., Holden L. A., White R. A., Ishler V. A. Evaluating the effect of ration composition on income over feed cost and milk yield. *Journal of dairy science*. 2014;97(5):3073–3080. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2013-7622>
7. Schneider L., Volkmann N., Kemper N., Spindler B. Feeding behavior of fattening bulls fed six times per day using an automatic feeding system. *Frontiers in Veterinary Science*. 2020;7:43. DOI: <https://doi.org/10.3389/fvets.2020.00043>
8. Fernandez-Ahumada E., Garrido-Varo A., Guerrero-Ginel J. E. Feasibility of diode-array instruments to carry near-infrared spectroscopy from laboratory to feed process control. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2008;56(9):3185–3192. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf073534t>
9. Nikitin E. A., Pavkin D. Yu., Izmailov A. Yu., Aksenov A. G. Assessing the homogeneity of forage mixtures using an RGB camera as exemplified by cattle rations. *Applied Sciences*. 2022;12(7):03230. DOI: <https://doi.org/10.3390/app12073230>
10. Rego G., Ferrero F., Valledor M., Campo J. C., Forcada S., Royo L. J., Soldado A. A portable IoT NIR spectroscopic system to analyze the quality of dairy farm forage. *Computers and electronics in agriculture*. 2020;175:105578. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105578>
11. Burmistrov D. E., Ignatenko D. N., Lednev V. N., Gudkov S. V., Pavkin D. Y., Khakimov A. R., et al. Application of optical quality control technologies in the dairy industry: an overview. *Photonics*. 2021;8(12):551. DOI: <https://doi.org/10.3390/photonics8120551>

#### *Сведения об авторах*

✉ **Беляков Михаил Владимирович**, доктор техн. наук, главный научный сотрудник отдела механизации и автоматизации процессов в животноводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>, e-mail: [bmw20100@mail.ru](mailto:bmw20100@mail.ru)

**Никитин Евгений Александрович**, кандидат техн. наук, старший научный сотрудник отдела механизации и автоматизации процессов в животноводстве, ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», 1-й Институтский проезд, д. 5, г. Москва, Российская Федерация, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>

#### *Information about the authors*

✉ **Mikhail V. Belyakov**, DSc in Engineering, chief researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 1st Institutsky proezd, 5, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4371-8042>, e-mail: [bmw20100@mail.ru](mailto:bmw20100@mail.ru)

**Evgeniy A. Nikitin**, PhD in Engineering, senior researcher, Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 5, 1st Institutsky proezd, Moscow, Russian Federation, 109428, e-mail: [vim@vim.ru](mailto:vim@vim.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0918-2990>

✉ – Для контактов / Corresponding author



## Алгоритм расчета расхода воды на молочной ферме КРС с привязным и беспривязным содержанием при доении в доильных залах

© 2024. В. В. Гордеев ✉, Т. И. Гордеева, Т. Ю. Миронова, С. В. Ковалёв

Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», г. Санкт-Петербург, Российская Федерация

Вода используется во всем цикле производства молока, начиная от поения и приготовления кормов, заканчивая промывкой доильного оборудования и молочных танков-охладителей. При этом в хозяйствах нет контроля и учёта количества расходуемой воды, в результате чего может происходить значительное превышение фактического расхода воды относительно нормативных данных. Одним из путей решения этой проблемы является внедрение системы мониторинга расхода воды, которая будет отслеживать фактический расход воды на ферме и сравнивать его с расчетным объемом, полученным на основании нормативных данных, технических характеристик оборудования и технологии содержания животных, принятой в хозяйстве. Цель исследования – разработка алгоритма расчета расхода воды при выполнении технологических операций на молочных фермах КРС. В результате исследований был разработан алгоритм расчета расхода воды на технологические операции, учитывающий различные варианты технических и технологических решений. На основе алгоритма разработана программа, с помощью которой была выполнена апробация последовательности расчета расхода воды. Расчет проводился для фермы на 800 голов дойного стада беспривязного содержания с продуктивностью 28 кг/гол. и 200 голов привязного содержания с продуктивностью 32 кг/гол. без учета молодняка. Расход воды для такой фермы составляет 113,09 м<sup>3</sup>/сут, из них 99,92 м<sup>3</sup>/сут используется на поение, приготовление кормов и является невозвратной, а 13,17 м<sup>3</sup>/сут приходится на технологические операции. Дальнейшим направлением исследований будет разработка системы мониторинга на основе созданной программы расчета расхода воды. Помимо системы мониторинга программа будет полезна при технологическом проектировании ферм КРС по производству молока.

**Ключевые слова:** животноводство, водосбережение, дойное стадо, технологический процесс, техническое решение

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки РФ в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ» (тема № FGUN-2022-0010).

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Гордеев В. В., Гордеева Т. И., Миронова Т. Ю., Ковалёв С. В. Алгоритм расчета расхода воды на молочной ферме КРС с привязным и беспривязным содержанием при доении в доильных залах. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1179–1190. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1179-1190>

Поступила: 16.09.2024

Принята к публикации: 10.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Algorithm of calculation of water consumption on dairy cattle farm with tied and loose housing at milking in milking parlors

© 2024. Vladislav V. Gordeev ✉, Tatiana I. Gordeeva, Tatyana Y. Mironova, Sergey V. Kovalev

Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, Saint Petersburg Russian Federation

Water is used in the whole cycle of milk production, from watering and fodder preparation to washing of milking equipment and milk cooling tanks. At the same time, farms do not control and record the amount of water consumed, which can result in a significant excess of actual water consumption over the normative data. One of the ways to solve this problem can be the introduction of a water consumption monitoring system, which will track the actual water consumption on the farm and compare it with the calculated volume obtained on the basis of normative data, technical characteristics of equipment and animal husbandry technology adopted in the farm. The purpose of the research is to develop an algorithm for calculating water consumption when performing technological operations on cattle dairy farms. As a result of the research, an algorithm for calculating water consumption for technological operations was developed, taking into account different variants of the technical and technological solutions. On the basis of the algorithm a program was developed, with the help of which the sequence of water consumption calculation was tested. The calculation was carried out for a farm for 800 heads of dairy herd of loose housing with productivity of 28 kg/head and 200 heads of loose housing with productivity of 32 kg/head excluding young stock. Water consumption for such a farm is 113.09 m<sup>3</sup>/day, of which 99.92 m<sup>3</sup>/day is used for watering, fodder prepa-

*ration, and is non-returnable, and 13.17 m<sup>3</sup>/day is used for technological operations. The further direction of research will be the development of a monitoring system based on the developed program of water consumption calculation. In addition to the monitoring system, the program will be useful in technological design of cattle farms for milk production.*

**Keywords:** livestock breeding, water saving, dairy herd technological process, technical solution

**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 No. FGUN-2022-0010).

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

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

**For citations:** Gordeev V. V., Gordeeva T. I., Mironova T. Yu. Kovalev S. V. Algorithm of calculation of water consumption on dairy cattle farm with tied and loose housing at milking in milking parlors. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1179–1190. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1179-1190>

Received: 16.09.2024

Accepted for publication: 10.12.2024

Published online: 25.12.2024

Доктрина продовольственной безопасности РФ, утвержденная в 2020 г., предусматривает уровень самообеспечения страны не менее 90 % [1]. Сохранение высокой продуктивности, здоровья и репродуктивных показателей поголовья [2, 3, 4] является необходимым условием самообеспечения страны молоком, при производстве которого на дойную корову приходится до 200 л/сут [5].

В свою очередь вода – самый вовлекаемый в хозяйственную деятельность ресурс, ежегодный производственный и бытовой расход которой превышает 4000 км<sup>3</sup>. На современном этапе развития хозяйственной деятельности вода приобрела свойства ограниченного природного ресурса [6]. Обеспечение эффективного использования воды на фермах КРС поможет снизить антропогенную нагрузку на окружающую среду. Исследователями во многих странах мира отмечается необходимость оценки использования воды и разработки эффективных методов управления водными ресурсами на молочных фермах [7, 8, 9], проводятся исследования расхода воды при производстве молока как в целом на сельскохозяйственных предприятиях [10, 11], так и на выполнение отдельных технологических операций [9, 12, 13, 14].

Вода используется во всем цикле производства молока, начиная от поения и приготовления кормов, и заканчивая промывкой доильного оборудования и молочных танков-охладителей. На большинство операций расход воды регламентируется методическими указаниями<sup>1</sup>. При этом в хозяйствах нет контроля и учёта количества расходуемой воды, в результате чего может происходить значительное превышение фактического расхода воды относительно нормативных данных.

Например, в исследованиях [15, 16] представлено, что фактический расход воды (до 40 %) превышает действующие нормативные значения при уборке в доильном зале.

Одним из путей решения этой проблемы может быть внедрение системы мониторинга расхода воды, которая будет отслеживать фактический расход воды на ферме и сравнивать его с расчетным объемом, полученным на основании нормативных данных, технических характеристик оборудования и технологии содержания животных, принятой в хозяйстве. Но в настоящее время отсутствуют методики расчета расхода воды на все технологические нужды, однако есть разрозненные исследования, среди которых можно отметить алгоритм системы управления процессом поения КРС, позволяющий вести контроль и учет расхода воды, потребляемой животными [17]; алгоритм расчета и выбора поилок для коров [18], позволяющий определить размер и количество поилок, от которых зависит объем сливаемой воды при их мойке. Представлены математические модели определения расхода воды на поение в зависимости от физиологического потенциала коров [19, 20, 21] и температурно-влажностных показателей окружающей среды [22, 23]; объем стоков от обработки копыт [24], соответствующий объему расходуемой воды на эту операцию. Помимо поения разработаны регрессионные модели расхода воды в доильном зале [25] – средняя продуктивность животных и частота доения. Представлены модели [26, 27] для прогнозирования потребления воды на бразильских и ирландских молочных фермах, однако они могут применяться не во всех хозяйствах.

<sup>1</sup>Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.01-18. М.: Росинформагротех, 2018. 166 с.



Рассмотренные исследования затрагивают моделирование расхода воды частично, по некоторым операциям, что не дает возможности оценить объем используемой воды на ферме в целом. Кроме того, представленные зависимости не учитывают влияние технических средств и технологических подходов, применяемых в хозяйстве, что увеличивает погрешность расчетов и, как следствие, снижает объективность оценки расхода воды.

**Цель исследований** – разработка алгоритма расчета расхода воды при выполнении технологических операций на молочных фермах КРС.

**Научная новизна** – алгоритм расчета расхода воды на выполнение технологических операций при производстве молока, который может быть в дальнейшем использован в системе мониторинга расхода воды. Уникальность алгоритма заключается в том, что он охватывает все технологические операции, учитывает коэффициенты расхода воды для различных технических и технологических решений, что позволяет в режиме реального времени выявить чрезмерный расход воды, определить и устранить его причины. Другое направление алгоритма – применение его при технологическом проектировании для расчета расхода воды на фермах КРС по производству молока.

**Материал и методы.** Для создания алгоритма применяли методы математического моделирования<sup>2</sup> и графоаналитические на основании поисковых исследований<sup>3, 4</sup>, предусматривающих анализ отечественной и зарубежной научно-технической литературы, нормативных документов<sup>5</sup>, а также материалы изучения технологий в сельском хозяйстве. Результаты исследований обрабатывали с помощью программных средств: MS Excel и MS Word.

**Результаты их обсуждение.** Система водоснабжения должна удовлетворять полную потребность фермы в воде на поение животных

и технологические нужды в соответствии с нормативными значениями и предъявляемыми требованиями по качеству выполняемых операций. На основании этого предполагается создание алгоритма, а результатом выполнения формирования отчета, в котором указывается суточный расход воды как на ферме в целом, так и на отдельные технологические операции в зависимости от выбранного варианта вывода данных. Для максимального приближения теоретических расчетов к реальности будут учитываться факторы, влияющие на расход воды. Алгоритм (рис. 1) представляет собой последовательность вычислительных и логических операций. Его можно разделить на 4 основных блока: исходных данных; расчета объема воды, необходимого на физиологические потребности животных; расчета расхода воды на выполнение технологических операций; выбора и вывода данных.

**Блок исходных данных.** В блоке исходных данных можно выделить несколько групп: нормативные данные и ввод данных, характеризующих применяемое оборудование и методы ведения хозяйствования на конкретной ферме.

**Нормативные данные.** При расчете расхода воды на поение ключевое значение имеет потребление воды на одну голову ( $v_{гол.}$ , л/гол. в сут). Расход воды на поение дойных коров разной продуктивности, сухостойных коров, нетелей и молодняка всех возрастов указан в методических рекомендациях<sup>6</sup>.

При охлаждении молока в проточном охладителе также используется вода – 2 л на 1 кг молока. Для учета этой воды можно использовать коэффициент охлаждения молока ( $k_{охл.}$ ).

Очистка вымени перед доением может осуществляться различными способами. В качестве базового значения будет использоваться расход воды на очистку вымени водой из ведра ( $V_{п.в.}^p = 6$  л/гол.), как указано в методических рекомендациях<sup>7</sup>, а способы очистки будут учитываться с помощью коэффициента.

---

<sup>2</sup>Стефанова Н. Л., Кочуренко Н. В., Снегурова В. И., Харитонов О. В., Чурилова М. Ю., Лопачев В. А. Методы математической обработки данных: учебник и практикум для вузов. 2-е изд., пер. и доп. М.: Юрайт, 2023. 317 с.

<sup>3</sup>Валге А. М., Джабборов Н. И., Эвиев В. А. Основы статистической обработки экспериментальных данных при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства с примерами на Statgraphics и Excel. СПб – Элиста: Изд-во Калмыцкого ГУ, 2015. 140 с.

<sup>4</sup>Валге А. М. Использование систем Excel и Mathcad при проведении исследований по механизации сельскохозяйственного производства: методическое пособие. СПб: ГУ СЗНИИМЭСХ, 2013. 200 с.

<sup>5</sup>Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота. РД-АПК 1.10.01.01-18. М.: Росинформагротех, 2018. 166 с.

<sup>6</sup>Там же.

<sup>7</sup>Там же.

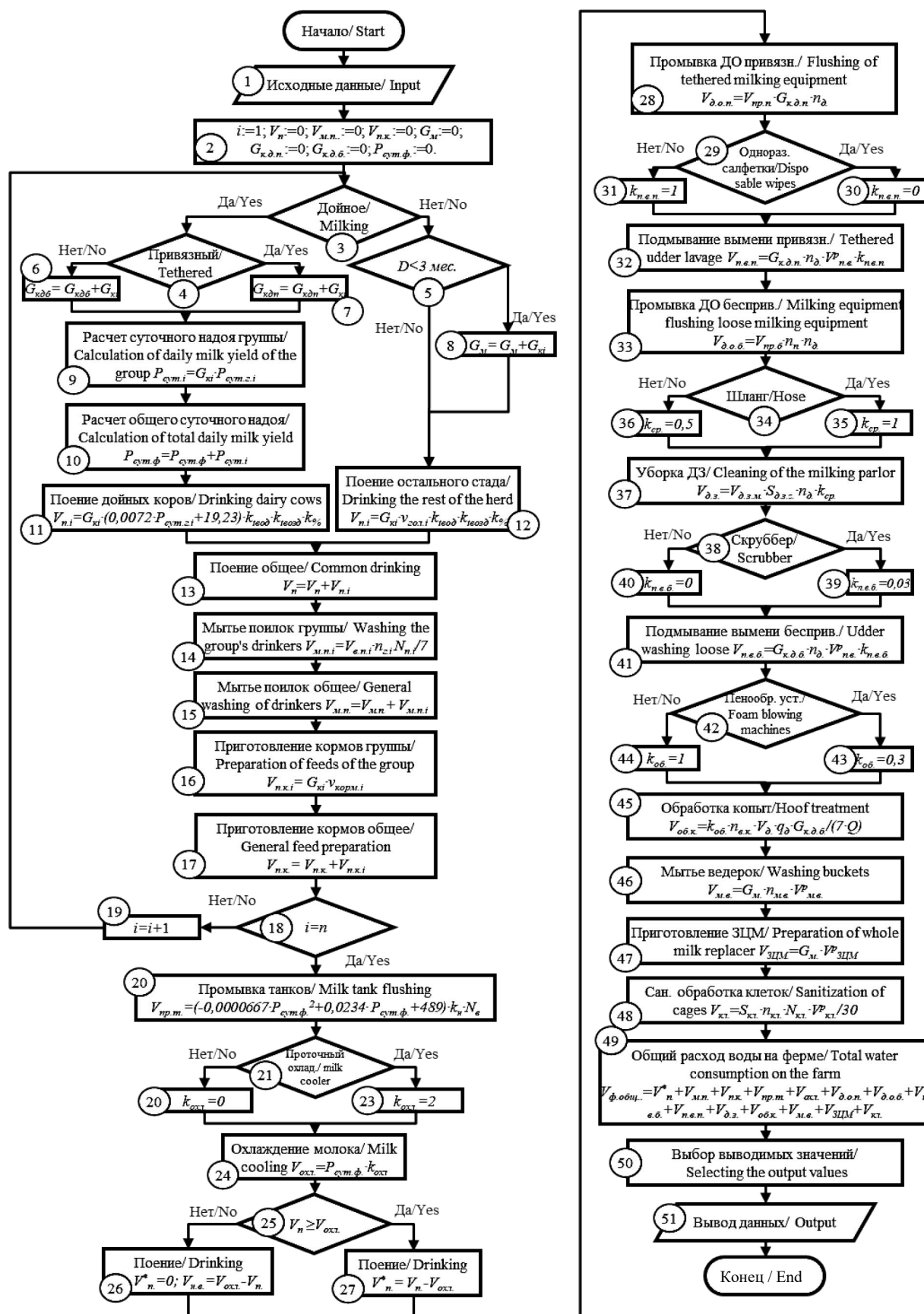


Рис. 1. Блок-схема алгоритма расчета расхода воды на молочной ферме КРС:  $i$  – порядковый номер группы животных;  $n$  – количество групп животных;  $G_{ki}$  – поголовье  $i$ -ой группы животных, гол.;  $D$  – характеристика группы: дойное или остальное поголовье;  $P_{c.m.i}$  – надой молока на голову в  $i$ -ой группы животных, кг/гол. в сут;  $v_{ni}$  – расход воды на поение  $i$ -ой группы животных, л/сут;  $k_{t.o.d.}$  – коэффициент температуры воды в поилке;  $k_{t.o.}$  – коэффициент тем-

пературы в помещении;  $k\%$  – коэффициент влажности в помещении;  $v_{\text{гол.}i}$  – потребление воды на одну голову остального стада, л/сут;  $V_{\text{в.п.}i}$  – объем поилки для  $i$ -ой группы животных, л;  $n_{\text{з.}i}$  – количество поилок для  $i$ -ой группы животных, шт.;  $N_{\text{н.}i}$  – периодичность очистки поилок  $i$ -ой группы животных, раз/нед.;  $v_{\text{корм.}i}$  – расход воды для приготовления кормов  $i$ -ой группы животных, л/гол.;  $k_{\text{н}}$  – коэффициент наполнения танков;  $N_{\text{в}}$  – периодичность вывоза молока с фермы, раз/сут;  $k_{\text{охл.}}$  – коэффициент охлаждения молока;  $n_{\text{д}}$  – количество доек, раз/сут;  $V_{\text{пр.п.}}$  – расход воды на разовую промывку доильного оборудования для привязи, л/скм.;  $k_{\text{л.в.}}$  – коэффициент средств подмывания вымени;  $V_{\text{п.в.}}$  – расход воды на разовое подмывание вымени, л/гол.;  $V_{\text{пр.б}}$  – расход воды на промывку оборудования доильного зала, л/пост;  $n_{\text{п.}}$  – количество постов доильного зала, шт.;  $V_{\text{д.з.м.}}$  – расход воды на уборку пола, л/м<sup>2</sup>;  $S_{\text{д.з.з.}}$  – площадь доильного зала, м<sup>2</sup>;  $k_{\text{ср.}}$  – коэффициент средств уборки;  $n_{\text{в.к.}}$  – количество ванн, шт.;  $V_{\text{д.}}$  – объем ванн, л;  $k_{\text{об.}}$  – коэффициент средств обработки копыт;  $q_{\text{д}}$  – периодичность обработки копыт, раз/нед.;  $Q$  – поголовье, после которого меняется раствор, гол.;  $n_{\text{м.в.}}$  – количество ведерок, шт./гол.;  $V_{\text{п.м.в.}}$  – расход воды на мойку ведерка, л/шт.;  $V_{\text{п.зцм}}$  – расход воды на приготовление заменителя цельного молока, л/гол.;  $S_{\text{кл.}}$  – площадь клеток, м<sup>2</sup>;  $n_{\text{кл.}}$  – количество клеток, шт.;  $N_{\text{кл.}}$  – периодичность обработки клеток, раз/мес.;  $V_{\text{п.кл.}}$  – расход воды на обработку клетки, л/шт. /

**Fig. 1. Block diagram of the algorithm for calculating water consumption on a cattle dairy farm:**  $i$  – animal group number;  $n$  – number of animal groups;  $G_{ki}$  – livestock of the  $i$ -th group of animals, head.;  $D$  – group characteristic: dairy or rest of the herd;  $P_{\text{сут.з.}i}$  – milk yield per head in  $i$ -th group of animals, kg/head per day;  $v_{\text{ни}}$  – water consumption for watering of  $i$ -th group of animals, l/day;  $k_{\text{твод}}$  – drinker water temperature coefficient;  $k_{\text{твозд}}$  – room temperature coefficient;  $k\%$  – room humidity coefficient;  $v_{\text{гол.}i}$  – water consumption per head of the remaining herd, l/day;  $V_{\text{в.п.}i}$  – volume of drinker for  $i$ -th group of animals, l;  $n_{\text{з.}i}$  – number of drinkers for  $i$ -th group of animals, pcs.;  $N_{\text{н.}i}$  – frequency of cleaning of drinkers of the  $i$ -th group of animals, once/week.;  $v_{\text{корм.}i}$  – water consumption for fodder preparation for the  $i$ -th group of animals, l/head.;  $k_{\text{н}}$  – tank fill factor;  $N_{\text{в}}$  – frequency of milk transportation from the farm, once a day;  $k_{\text{охл.}}$  – milk cooling factor;  $n_{\text{д}}$  – number of milkings, once/day;  $V_{\text{пр.п.}}$  – water consumption for single rinsing of tether milking equipment, l/scm.;  $k_{\text{л.в.}}$  – udder wash ratio;  $V_{\text{п.в.}}$  – water consumption for single udder lavage, l/head.;  $V_{\text{пр.б}}$  – water consumption for flushing of milking parlor equipment, l/post;  $n_{\text{п.}}$  – number of milking parlor posts, pcs.;  $V_{\text{д.з.м.}}$  – water consumption for floor cleaning, l/m<sup>2</sup>;  $S_{\text{д.з.з.}}$  – milking parlor area, m<sup>2</sup>;  $k_{\text{ср.}}$  – cleaning product ratio;  $n_{\text{в.к.}}$  – number of baths, pcs.;  $V_{\text{д.}}$  – bath volume, l;  $k_{\text{об.}}$  – hoof treatment ratio;  $q_{\text{д}}$  – hoof treatment frequency, once/week.;  $Q$  – population after which the solution is changed, head.;  $n_{\text{м.в.}}$  – number of buckets, pcs./head.;  $V_{\text{п.м.в.}}$  – water consumption for bucket washing, l/piece.;  $V_{\text{п.зцм}}$  – water consumption for preparation of whole milk replacer, l/head.;  $S_{\text{кл.}}$  – cell area, m<sup>2</sup>;  $n_{\text{кл.}}$  – number of cells, pcs.;  $N_{\text{кл.}}$  – frequency of cell treatment, once/month.;  $V_{\text{п.кл.}}$  – water consumption for cage treatment, l/piece.

Уборка полов в доильном зале, согласно методическим рекомендациям<sup>8</sup>, должна осуществляться исходя из установленного расхода воды ( $V_{\text{дз.м}} = 5 \text{ л/м}^2$ ).

При содержании телят до 3 месяцев вода расходуется на мытье ведерок для выпойки ( $V_{\text{п.м.в.}} = 2 \text{ л/шт.}$ ), приготовление заменителя цельного молока (ЗЦМ) ( $V_{\text{п.зцм}} = 5 \text{ л/гол. в сут}$ ) и санитарную обработку клеток ( $V_{\text{п.кл.}} = 2 \text{ л/м}^2$ ).

*Ввод данных, зависящих от технологических решений и организации труда на ферме.* Для некоторых операций целесообразно вводить поправочные коэффициенты, в частности при расчете расхода воды на поение животных, поскольку на объем выпиваемой воды оказывает влияние как температура самой воды ( $k_{\text{твод}}$ ), так и температура ( $k_{\text{твозд}}$ ), и влажность ( $k\%$ ) воздуха в помещении.

Вода используется для приготовления кормов, объем ( $v_{\text{корм.}i}$ ) которой зависит от принятого в хозяйстве рациона. Для расчета берем значение  $v_{\text{корм.}i} = 5 \text{ л/мгол. в сут}$ .

Помимо охлаждения молока в танках может применяться проточный охладитель для его предварительного охлаждения, тогда для расчета будет применен коэффициент охлаждения ( $k_{\text{охл.}} = 2$ ). В случае отсутствия проточ-

ного охладителя расхода воды на охлаждение не будет, а коэффициент равен 0.

На расход воды при промывке молочных танков оказывает влияние периодичность вывоза молока ( $N_{\text{в}}$ , раз в сут). Поскольку расход воды на промывку зависит от объема молочного танка, то для точного расчета необходим подбор танков-охладителей, что значительно усложнит алгоритм. Для определения объема расхода воды при промывке молочных танков-охладителей предполагается проведение укрупненного расчета. Поэтому при расчете будет учитываться суточный надой молока с фермы и коэффициент наполнения танка молоком ( $k_{\text{н}}$ ) вместо объема танка.

При выполнении технологических операций, связанных с доением, основным фактором, влияющим на расход воды, является количество доек ( $n_{\text{д}}$ , раз в сут). К таким операциям относятся: преддоильная подготовка вымени (очистка вымени); промывка доильного оборудования; уборка полов доильного зала.

Очистка вымени дойных коров как при доении на привязи, так и при доении в доильном зале осуществляется различными способами, которые определяются коэффициентом средств очистки вымени для привязного ( $k_{\text{л.в.}}$ ) и беспривязного ( $k_{\text{п.б}}$ ) способа содержания.

<sup>8</sup>РД-АПК 1.10.01.01-18. Указ. соч.

На основании данных, полученных от поставщиков оборудования, были выведены средние значения расхода воды на промывку доильного оборудования. Для доильных установок типа «Карусель», «Параллель», «Елочка» расход воды ( $V_{пр.д}$ ) составляет 30 л/пост. При доении коров на привязи расход воды ( $V_{пр.п}$ ) составляет 2,5 л/скм. Расход воды на промывку доильных установок типа «Карусель», «Параллель», «Елочка» зависит от количества доильных постов ( $n_{п}$ , шт.). На промывку оборудования при доении на привязи расход воды зависит от количества скотомест, что соответствует рассчитываемому общему поголовью дойных коров, содержащемуся на привязи.

Расчет расхода воды на уборку полов доильного зала, помимо количества доек и указанного в нормативах расхода, включает площадь полов доильного зала ( $S_{дз}$ , м<sup>2</sup>) и применяемое для уборки средство ( $M$ ), в качестве которого может использоваться мойка высокого давления или шланг с наконечником.

Обработка копыт дойных коров проводится на выходе из доильного зала и чаще всего в ваннах ( $V_{д}$ ), объемом 200 л. Как правило, ванны устанавливаются на выходе из доильного зала: одна, наполненная водой, для размягчения и очистки копыт от грязи, другая – непосредственно с раствором, общим количеством ( $n_{в.к.}$ ) 2 шт., содержимое которых меняется после прохождения 250 коров.

Для расчета расхода воды необходимо указать используемое оборудование ( $R$ ) и периодичность обработки копыт ( $q_{д}$ ).

Расчет расхода воды на содержание телят до 3 месяцев проводится на основании данных о количестве ведерок для выпойки ( $N_{м.в.}$ , шт./гол.), количестве клеток ( $n_{кл.}$ , шт.), периодичности обработки клеток ( $N_{кл.}$ , раз в мес.).

Для содержания телят чаще всего используются клетки площадью ( $S_{кл.}$ ) 6,08 м<sup>2</sup>.

*Блок расчета объема воды, необходимого на физиологические потребности животных.* Этот блок представляет собой цикл, в котором выполняется проверка условий, вводимых данных с дальнейшим расчетом. Применение цикла обосновано тем, что количество групп животных разных фаз, для которых рассчитывается расход воды на поение, мытье поилок и приготовление кормов для разных хозяйств может отличаться. Проводится расчет поголовья молодняка (8), дойных коров привязного (6) и беспривязного (7) содержания, суточного надоя молока (10), расхода воды на поение животных (13), мытье поилок (15) и пригото-

вление кормов (17) до тех пор, пока порядковый номер группы не будет равен количеству групп животных (рис. 1).

*Блок расчета расхода воды на выполнение технологических операций.* В данном блоке помимо исходных и нормативных данных используются полученные в предыдущем блоке значения для расчета расхода воды: на промывку танков-охладителей (20); охлаждение молока (24); промывку доильного оборудования (28) и подмывание вымени (32) на привязи; промывку оборудования (33); уборку площадок (37); подмывание вымени (41); обработку копыт (45) в доильном зале; мытье ведерок для выпойки телят (45); приготовление заменителя цельного молока (47); санитарную обработку клеток (48). Затем для вычисления общего расхода воды на ферме (49) полученные данные расхода воды складываются. Помимо вычислений в этом блоке предусмотрен выбор технических средств для охлаждения молока, обработки вымени, уборки площадок доильного зала и обработки копыт, которые в расчете представлены коэффициентами. В качестве водосберегающего решения, нашедшего широкое применение на фермах, представлено направление нагретой от охлаждения молока воды для поения животных.

*Блок выбора и вывода данных.* В данном блоке проводится выбор необходимых значений, которые будут показаны в отчете. Выбор (50) осуществляется из нескольких представленных вариантов:

- вывод только общего расхода воды на ферме;
- вывод расхода воды на выбранные операции;
- вывод расхода воды по всем операциям с общим расходом на ферме.

Отчет (51) представляется в виде документа, содержащего выбранный вариант выводимых данных.

На основе составленного алгоритма была разработана и зарегистрирована программа расчета расхода воды на молочной ферме КРС [28]. Рабочее поле для ввода исходных данных представлено на рисунке 2.

Для проверки работоспособности провели расчет расхода воды для молочной фермы на 1000 голов, из них 800 голов дойного стада беспривязного с продуктивностью 28 кг/гол. и 200 голов привязного содержания с продуктивностью 32 кг/гол. без учета молодняка. При беспривязном содержании для поения исполь-

зуются 19 поилок объемом 344 л каждая, для очистки вымени применяется скруббер. Доение осуществляется в доильном зале площадью 459 м<sup>2</sup> на доильной установке типа «Карусель»

на 40 постов. Для уборки пола после каждой дойки применяют мойку высокого давления. Обработка копыт проводится 3 раза в неделю с помощью пенообразующей установки.

**Расход питьевой воды на технологические нужды**

**Нормативные данные**

Потребление воды одной коровой в технологической группе, л/гол. в сут. при t <sub>возд</sub> =15°C	Нормы
2. Коэффициент охлаждения, л воды/кг молока (коэф=2 для проточного охладителя)	2.0
3. Коэффициент наполнения танка	1.11
4. Расход воды на подмывание вымени, л/гол.	6.0
5. Расход воды на уборку доильного зала, л/м <sup>2</sup>	5.0
6. Расход воды на приготовление кормов на одну голову, л/гол.	5.0
7. Расход воды на мытье ведерок, л/шт.	2.0
8. Расход воды на приготовление ЗЦМ, л/гол.	5.0
9. Расход воды на обработку 1 м <sup>2</sup> клетки, л/м <sup>2</sup>	2.0

**Постоянные величины**

1. Коэффициент учета влияния температуры воды на потребление воды коровами	1.0
2. Коэффициент учета влияния температуры воздуха на потребление воды коровами	1.0
3. Коэффициент учета влияния влажности воздуха на потребление воды коровами	1.0
4. Расход воды на промывку доильного оборудования для одного поста	30.0
5. Объем ванны для обработки копыт, л	200.0
6. Количество ванн для обработки копыт, шт.	2.0
7. Количество животных, после которых меняется раствор	250.0
8. Обрабатываемая площадь клетки, л/м <sup>2</sup>	6.08

**Исходные данные для расчета**

1. Наличие проточного охладителя молока	1	есть
2. Наличие водосберегающей технологии	0	нет
3. Наличие пенообразующей установки	1	есть
4. Дебит скважины на ферме	0.00	

**Исходные данные для расчета**

**Расчет**

**Выход**

**Источник данных:**

1. РД-АПК 1.10.01.01-18. "Методические рекомендации по технологическому проектированию ферм и комплексов крупного рогатого скота"

2. Симонов Г.А., Зотеев В.С., Хализова З.Н., Симонов А.Г., Зотеев С.В. Выращивание телят молочного периода на заменителе цельного молока // Эффективное животноводство. 2022. №5 (180). С. 16-20. <https://doi.org/10.24412/ci-33489-2022-5-16-20>.

Рис. 2. Интерфейс программы расчёта расхода воды на молочной ферме КРС /

Fig. 2. Interface of the program for calculation of water consumption on a dairy cattle farm

При привязном содержании для поения используются чашечные поилки в количестве 100 шт., объемом 5 л каждая. Для очистки вымени применяются одноразовые салфетки.

Периодичность доения – 3 раза в сутки, мытье поилок 2 раза в неделю, вывоз молока – 1 раз в сут. Для охлаждения молока используется проточный охладитель.

Результаты расчета расхода воды для такой фермы представлены в таблице 1.

Для сопоставления полученных результатов расчета расхода воды на технологические нужды с другими исследованиями переведем полученные показатели в удельные единицы на голову и 1 кг молока. Результаты сравнения представлены в таблице 2.

В целом можно сделать вывод о том, что использованная в алгоритме зависимость расхода воды для поения дойных коров соответствует данным других исследований, однако в дальнейшем необходима ее корректировка на основании экспериментальных.

Полученные данные расхода воды на промывку оборудования доильного зала близки к результатам исследований [32], что позволяет использовать исходные данные при дальнейших расчетах без корректировок.

С учетом того, что для уборки пола в расчете использовали мойку высокого давления, результаты расчета значительно отличаются от расхода воды, полученного другими исследователями. Одной из возможных причин несоответствия является различное поголовье коров, приходящих в доильный зал. Все это указывает на необходимость проведения экспериментов для уточнения фактического расхода воды для уборки полов доильного зала при использовании различных технических решений и последующей корректировки нормативных данных.

На ферме предполагается повторное использование подогретой воды от охлаждения молока в проточном охладителе, что позволяет покрывать большую часть расхода воды, порядка 60 %, на поение животных.



*Таблица 1 – Результаты расчета расхода воды при использовании программы, разработанной на основе составленного алгоритма, м³/сут /*

*Table 1 – Results of water consumption calculation using the program developed on the basis of the developed algorithm, m³/day*

Наименование / Name	Расход воды на операцию / Water consumption per operation	В том числе / Including	
		привязное содержание / linked content	беспривязное содержание / loose content
Поение общее, в том числе: / Total watering, including	94,92	20,67	74,25
- вода после охлаждения молока / water after milk cooling	57,60	12,80	44,80
- вода из скважины / water from the well	37,32	7,87	29,45
Приготовление кормов / Fodder preparation	5,00	1,00	4,00
Мытье поилок / Washing of drinkers	2,16	0,29	1,87
Промывка молочных танков-охладителей / Flushing of milk cooling tanks	1,78	0,76	1,02
Промывка доильного оборудования для привязи / Washing of tether milking equipment	1,50	1,50	-
Очистка вымени коров на привязи / Cleaning udders of cows on tether	0,00	0	-
Промывка оборудования доильной установки / Flushing of milking machine equipment	3,60	-	3,60
Очистка вымени коров в доильном зале / Cleaning of cows' udders in the milking parlor	0,48	-	0,48
Уборка доильного зала / Cleaning of milking parlor	3,44	-	3,44
Обработка копыт / Hoof treatment	0,21	-	0,21
Всего / Total	113,09	24,22	88,87

*Таблица 2 – Сравнение результатов расчета и экспериментальных данных удельного расхода воды /*

*Table 2 – Comparison of specific water consumption of calculation results and experimental data*

Технологическая операция / Technological operation	Источник / Source	Расход воды / Water consumption	Сравнение с расчетом, % / Comparison with calculation, %
Поение животных / Animal watering	Расчетные данные / Estimated data	3,3 л/1 кг молока / 3.3 l/1 kg of milk	100
	Д. Уорд, П. Энг / D. Ward, P. Eng [29]	3,4–4,1 л/1 кг молока / 3.4–4.1 l/1 kg of milk	103,03–124,24
	В. Ф. Второй, С. В. Второй / V. F. Vtoruj, S. V. Vtoruj [30]	2,39 л/1 кг молока / 2.39 l/1 kg of milk	72,42
	В. В. Гордеев, В. Е. Хазанов / V. V. Gordeev, V. E. Khazanov [31]	2,06 л/1 кг молока / 2.06 l/1 kg of milk	62,42
	М. Краусс, К. Драстиг / M. Krauß, K. Drastig [14]	2,6 л/1 кг молока / 2.6 l/1 kg of milk	78,79
Промывка оборудования доильной установки / Flushing of milking machine equipment	Расчетные данные / Estimated data	0,16 л/1 кг молока / 0.16 l/1 kg of milk	100
	К. Ходур, В. Нагипал / C. Hodúr, V. Nagypál [32]	0,15–0,24 л/1 кг молока / 0.15–0.24 l/1 kg of milk	93,75–150,00
Уборка технологических площадей доильного зала / Cleaning of technological areas of the milking parlor	Расчетные данные / Estimated data	4,3 л/гол. в сут / 4.3 l/head per day	100
	Э. Л. Лериче, А. К. Ван дер Заг / E. L. Le Riche, A. C. Van der Zaag [33]	22,9 л/гол. в сут / 22.9 l/head per day	532,56
	В. В. Гордеев, Т. Ю. Миронова [34] / V. V. Gordeev, T. Yu. Mironova [34]	24,3 л/гол. в сут / 24.3 l/head per day	565,12

**Заключение.** В связи с отсутствием системного подхода в моделировании расхода воды был разработан алгоритм, рассчитывающий расход воды на все технологические операции на молочной ферме КРС, учитывающий различные варианты технических и технологических решений.

По алгоритму разработана программа расчета расхода воды, которая будет полезна при технологическом проектировании ферм КРС по производству молока и мяса с привязным и беспривязным содержанием при доении в доильных залах.

Проведенная апробация программы расчета показывает, что разработанная последовательность позволяет рассчитать расход воды на ферме, однако необходимо проведение экспериментальных исследований для уточнения нормативных данных по расходу воды, например, на поение животных разного возраста, уборку пола доильного зала при использовании различных технических решений и т.д.

Дальнейшим направлением исследований будет разработка системы мониторинга на основе созданной программы расчета расхода воды.

#### **Список литературы**

1. Строев В. В., Магомедов М. Д., Алексейчева Е. Ю. Повышение производства и потребления молочных продуктов в России и продовольственная безопасность. Экономика: вчера, сегодня, завтра. 2023;13(6-1):368–380. DOI: <https://doi.org/10.34670/AR.2023.70.69.043> EDN: FKHUWK
2. Скоркин В. К., Ларкин Д. К., Аксенова В. П., Андрюхина О. Л. Особенности водоснабжения животноводческих ферм. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2013;(1(9)):23–28.
3. МакКонахи Х. Важность обеспечения качества воды для коров. Комбикорма. 2020;(7–8):56–58.
4. Трофимов А. Ф., Брыло И. В. Влияние качества питьевой воды на продуктивность и здоровье КРС. Вестні Національної академії навук Беларусі. Серія аграрних наук. 2009;(4):92–96. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44174847> EDN: JQDNQR
5. Сторожук Т. А., Матвеев К. А., Невмержицкий А. И. Значение водных ресурсов для животноводства. Аллея науки. 2018;2(5(21)):956–959. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xrktfj> EDN: XRKTfJ
6. Акулинина В. Г., Курочкин В. Н. Приоритеты и экономические основы управления водопользованием в контексте модернизации. Московский экономический журнал. 2018;(5):7. DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2018-15007> EDN: VNPFFN
7. Yu L., Xiong X., Samim S. A., Hu Z. Analysis of Water Resources and Water Environmental Carrying Capacity of Animal Husbandry in China – Based on Water Footprint Theory. Water. 2021;13(23):3386. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13233386>
8. Singh A. K., Bhakat C., Singh P. A review on water intake in dairy cattle: associated factors, management practices, and corresponding effects. Tropical Animal Health and Production. 2022;54(2):154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03154-2>
9. Nagypál V., Mikó E., Hodúr C. Sustainable Water Use Considering Three Hungarian Dairy Farms. Sustainability. 2020;12(8):3145. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12083145>
10. Shine P., Scully T., Upton J., Shalloo L., Murphy M. D. Electricity & direct water consumption on Irish pasture based dairy farms: A statistical analysis. Applied Energy. 2018;210:529–537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.029>
11. Farooq M. H., Shahid M. Q. Quantification of on-farm groundwater use under different dairy production systems in Pakistan. PLOS Water. 2023;2(2):e0000078. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000078>
12. Palhares J. C. P., Matarim D. L., de Sousa R. V., Martello L. S. Water performance indicators and benchmarks for dairy production systems. Water. 2024;16(2):330. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16020330>
13. Al-Bahouh M., Osborne V., Wrigth T., Dixon M., Gordon R. Blue and grey water footprints of dairy farms in Kuwait. Journal of Water Resource and Protection. 2020;12(7):618–635. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.127038>
14. Krauß M., Drastig K., Prochnow A., Rose-Meierhöfer S., Kraatz S. Drinking and Cleaning Water Use in a Dairy Cow Barn. Water. 2016;8(7):302. DOI: <https://doi.org/10.3390/w8070302>
15. Миронова Т. Ю., Гордеев В. В., Ковалёв С. В., Гордеева Т. И. Расход воды для уборки доильного зала типа «Карусель». Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее образование. 2023;(4(72)):528–538. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-53> EDN: HCMGYM
16. Ковалев С. В., Гордеев В. В., Миронова Т. Ю. Анализ водопользования на фермах КРС. АгроЭкоИнженерия. 2023;(2(115)):108–123. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-108-122> EDN: FCNKFF
17. Гордеев В. В., Вторый С. В. Алгоритм управления процессом поения в коровниках. АгроЭкоИнженерия. 2018;(97):227–234. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10110> EDN: YPQDVR

18. Гордеев В. В., Хазанов В. Е., Яковлева А. В. Алгоритм расчёта и выбора поилок для коров. Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2016;(2):24–28. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26622883> EDN: WKPHQJ
19. Cardot V., Le Roux Y., Jurjan S. Drinking Behavior of Lactating Dairy Cows and Prediction of Their Water Intake. Journal of Dairy Science. 2008;91(6):2257–2264. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204>
20. Meyer U., Everinghoff M., Gädeken D., Flachowsky G. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. Livestock Production Science. 2004;90(2-3):117–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LIVPRODSCI.2004.03.005>
21. Shine P., Scully T., Upton J., Murphy M. D. Multiple linear regression modelling of on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. Computers and Electronics in Agriculture. 2018;148:337–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.020>
22. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., VanderZaag A., Gordon R. Blue Water Footprints of Ontario Dairy Farms. Water. 2021;13(16):2230. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13162230>
23. Ammer S., Lambert C., von Soosten D., Zimmer K., Meyer U., Dänicke S., Gauly M. Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition. 2018;102(1):103–113. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12664>
24. Гордеев В. В., Миронова Т. Ю., Мионов В. Н. Методика определения количества навозосодержащих стоков доильных залов. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018;97:241–250. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10112> EDN: VNRJWT
25. Higham C. D., Horne D., Singh R., Kuhn-Sherlock B., Scarsbrook M. R. Water use on nonirrigated pasture-based dairy farms: Combining detailed monitoring and modeling to set benchmarks. Journal of Dairy Science. 2017;100(1):828–840. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11822>
26. Osaki M. R., Palhates J. C. P., Aguiar F. G. Artificial neural network model for water consumption prediction in dairy farms. Bioscience Journal. 2024;40:e40009. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v40n0a2024-68845>
27. Murphy E., de Boer I. J. M., van Middelaar C. E., Holden N. M., Curran T. P., Upton J. Predicting fresh-water demand on Irish dairy farms using farm data. Journal of Cleaner Production. 2017;166:58–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.240>
28. Ковалёв С. В., Миронова Т. Ю., Гордеев В. В., Гордеева Т. И., Матейчик С. Н. Программа расчета расхода воды на молочной ферме КРС: Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024687090 Российская Федерация. № 2024686126: заявл. 05.11.2024; опубли. 14.11.2024. Бюл. №11. 1 с. Режим доступа: [https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet)
29. Ward D., Eng P., McKague K., Eng P. Water Requirements of Livestock. Factsheet. 2023. 6 p. URL: <https://files.ontario.ca/omafra-water-requirements-livestock-23-023-en-2023-04-25.pdf>
30. Второй В. Ф., Второй С. В., Ильин Р. М. Оценка влияния основных факторов на водопотребление дойных коров. АгроЭкоИнженерия. 2021;(2(107)):106–115. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46302062> EDN: YOTKON
31. Гордеев В. В., Хазанов В. Е., Второй С. В., Ильин Р. М. Анализ организации водообеспечения коров летом при беспривязном содержании. Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019;(3(100)):146–153. DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10197> EDN: TGLHGP
32. Hodúr C., Nagypál V., Fazekas Á., Mikó E. Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors. Water Practice and Technology. 2022;17(7):1378–1389. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.073>
33. Le Riche E. L., VanderZaag A. C., Burt S., Lapen D. R., Gordon R. Water use and conservation on a free-stall dairy farm. Water. 2017;9(12):977. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9120977>
34. Гордеев В. В., Миронова Т. Ю., Гордеева Т. И., Ильин Р. М., Мионов В. Н. Расход водных ресурсов для уборки доильного зала типа «Параллель». АгроЭкоИнженерия. 2021;(4(109)):117–125. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-117-124> EDN: LCLEJM

### References

1. Stroeve V. V., Magomedov M. D., Alekseycheva E. Yu. Increasing the production and consumption of dairy products in Russia and food security. *Ekonomika: vchera, segodnya, zavtra* = Economics: Yesterday, Today and Tomorrow. 2023;13(6-1):368–380. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.34670/AR.2023.70.69.043>
2. Skorkin V. K., Larkin D. K., Aksenova V. P., Andryukhina O. L. Water features livestock farms. *Vestnik Vserossiyskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*. 2013;(1(9)):23–28. (In Russ.).
3. MakKonakhi Kh. The importance of ensuring water quality for cows. *Kombikorma*. 2020;(7–8):56–58. (In Russ.).
4. Trofimov A. F., Brylo I. V. The influence of drinking water quality on cattle productivity and health. *Vesti Natsyynal'най akademii navuk Belarusi. Seryya agrarnykh navuk* = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Agrarian series. 2009;(4):92–96. (In Belarus). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44174847>

5. Storozhuk T. A., Matveev K. A., Nevmerzhitskiy A. I. The importance of water resources for animal husbandry. *Alleya nauki*. 2018;2(5(21)):956–959. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?edn=xrktfj>
6. Akulinina V. G., Kurochkin V. N. Priorities and economic basis of management water use in the context of modernization. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* = Moscow journal. 2018;(5):7. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2018-15007>
7. Yu L., Xiong X., Samim S. A., Hu Z. Analysis of Water Resources and Water Environmental Carrying Capacity of Animal Husbandry in China – Based on Water Footprint Theory. *Water*. 2021;13(23):3386. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13233386>
8. Singh A. K., Bhakat C., Singh P. A review on water intake in dairy cattle: associated factors, management practices, and corresponding effects. *Tropical Animal Health and Production*. 2022;54(2):154. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11250-022-03154-2>
9. Nagypál V., Mikó E., Hodúr C. Sustainable Water Use Considering Three Hungarian Dairy Farms. *Sustainability*. 2020;12(8):3145. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12083145>
10. Shine P., Scully T., Upton J., Shalloo L., Murphy M. D. Electricity & direct water consumption on Irish pasture based dairy farms: A statistical analysis. *Applied Energy*. 2018;210:529–537. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.07.029>
11. Farooq M. H., Shahid M. Q. Quantification of on-farm groundwater use under different dairy production systems in Pakistan. *PLOS Water*. 2023;2(2):e0000078. DOI: <https://doi.org/10.1371/journal.pwat.0000078>
12. Palhares J. C. P., Matarim D. L., de Sousa R. V., Martello L. S. Water performance indicators and benchmarks for dairy production systems. *Water*. 2024;16(2):330. DOI: <https://doi.org/10.3390/w16020330>
13. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., Gordon R. Blue and grey water footprints of dairy farms in Kuwait. *Journal of Water Resource and Protection*. 2020;12(7):618–635. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.127038>
14. Krauß M., Drastig K., Prochnow A., Rose-Meierhöfer S., Kraatz S. Drinking and Cleaning Water Use in a Dairy Cow Barn. *Water*. 2016;8(7):302. DOI: <https://doi.org/10.3390/w8070302>
15. Mironova T. Yu., Gordeev V. V., Kovalev S. V., Gordeeva T. I. Cleaning water consumption in milking parlours Carousel. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee obrazovanie*. 2023;(4(72)):528–538. DOI: <https://doi.org/10.32786/2071-9485-2023-04-53>
16. Kovalev S. V., Gordeev V. V., Mironova T. Yu. Analysis of water use on cattle farms. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2023;(2(115)):108–123. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2023-2115-108-122>
17. Gordeev B. V., Vtoryy C. V. Algorithm of livestock watering control in cow barns. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2018;(97):227–234. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10110>
18. Gordeev V. V., Khazanov V. E., Yakovleva A. V. Algorithm of calculation and selection of drinking bowls for cows. *Izvestiya Velikolukskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2016;(2):24–28. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=26622883>
19. Cardot V., Le Roux Y., Jurjan S. Drinking Behavior of Lactating Dairy Cows and Prediction of Their Water Intake. *Journal of Dairy Science*. 2008;91(6):2257–2264. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2007-0204>
20. Meyer U., Everinghoff M., Gädeken D., Flachowsky G. Investigations on the water intake of lactating dairy cows. *Livestock Production Science*. 2004;90(2-3):117–121. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.LIVPRODSCI.2004.03.005>
21. Shine P., Scully T., Upton J., Murphy M. D. Multiple linear regression modelling of on-farm direct water and electricity consumption on pasture based dairy farms. *Computers and Electronics in Agriculture*. 2018;148:337–346. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.compag.2018.02.020>
22. Al-Bahouh M., Osborne V., Wright T., Dixon M., VanderZaag A., Gordon R. Blue Water Footprints of Ontario Dairy Farms. *Water*. 2021;13(16):2230. DOI: <https://doi.org/10.3390/w13162230>
23. Ammer S., Lambertz C., von Soosten D., Zimmer K., Meyer U., Dänicke S., Gauly M. Impact of diet composition and temperature–humidity index on water and dry matter intake of high-yielding dairy cows. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. 2018;102(1):103–113. DOI: <https://doi.org/10.1111/jpn.12664>
24. Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Mironov V. N. Method to determine the amount of manure-bearing wastewater from milking parlours. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2018;97:241–250. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2018-10112>
25. Higham C. D., Horne D., Singh R., Kuhn-Sherlock B., Scarsbrook M. R. Water use on nonirrigated pasture-based dairy farms: Combining detailed monitoring and modeling to set benchmarks. *Journal of Dairy Science*. 2017;100(1):828–840. DOI: <https://doi.org/10.3168/jds.2016-11822>
26. Osaki M. R., Palhates J. C. P., Aguiar F. G. Artificial neural network model for water consumption prediction in dairy farms. *Bioscience Journal*. 2024;40:e40009. DOI: <https://doi.org/10.14393/BJ-v40n0a2024-68845>
27. Murphy E., de Boer I. J. M., van Middelaar C. E., Holden N. M., Curran T. P., Upton J. Predicting fresh-water demand on Irish dairy farms using farm data. *Journal of Cleaner Production*. 2017;166:58–65. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.07.240>



28. Kovalev S. V., Mironova T. Yu., Gordeev V. V., Gordeeva T. I., Mateychik S. N. The program for calculating water consumption on a cattle dairy farm: Certificate of state registration of the computer program No. 2024687090 Russian Federation, 2024. URL: [https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips\\_servlet](https://www1.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet)
29. Ward D., Eng P., McKague K., Eng P. Water Requirements of Livestock. Factsheet. 2023. 6 p. URL: <https://files.ontario.ca/omafra-water-requirements-livestock-23-023-en-2023-04-25.pdf>
30. Vtoryy V. F., Vtoryy S. V., Ilyn R. M. Assessment of main factors effect on water consumption of milking cows. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2021;(2(107)):106–115. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=46302062>
31. Gordeev V. V., Khazanov V. E., Vtoryy S. V., Ilyn R. M. Organization of summer water supply of cows under the loose housing system. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktov rastenievodstva i zhivotnovodstva*. 2019;(3(100)):146–153. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/0131-5226-2019-10197>
32. Hodúr C., Nagypál V., Fazekas Á., Mikó E. Blue and gray water footprint of some Hungarian milking parlors. *Water Practice and Technology*. 2022;17(7):1378–1389. DOI: <https://doi.org/10.2166/wpt.2022.073>
33. Le Riche E. L., VanderZaag A. C., Burt S., Lapen D. R., Gordon R. Water use and conservation on a free-stall dairy farm. *Water*. 2017;9(12):977. DOI: <https://doi.org/10.3390/w9120977>
34. Gordeev V. V., Mironova T. Yu., Gordeeva T. I., Ilyn R. M., Mironov V. N. Consumption of water resources for cleaning “Parallel” milking parlour. *AgroEkoInzheneriya* = Agricultural Engineering (Moscow). 2021;(4(109)):117–125. DOI: <https://doi.org/10.24412/2713-2641-2021-4109-117-124>

#### **Сведения об авторах**

✉ **Гордеев Владислав Владимирович**, кандидат техн. наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-6181-396X>, e-mail: [cow-sznii@yandex.ru](mailto:cow-sznii@yandex.ru)

**Татьяна Ивановна Гордеева**, кандидат техн. наук, доцент, старший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5466-6033>

**Миронова Татьяна Юрьевна**, кандидат техн. наук, научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>

**Ковалев Сергей Владимирович**, младший научный сотрудник отдела агроэкологии в животноводстве, Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства – филиал ФГБНУ «Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ», Филътровское шоссе, д. 3, пос. Тярлево, г. Санкт-Петербург, Российская Федерация, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1310-4283>

#### **Information about the authors**

✉ **Vladislav V. Gordeev**, PhD in Engineering, associate professor, leading researcher, the Department of Agroecology in Livestock Production, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6181-396X>, e-mail: [cow-sznii@yandex.ru](mailto:cow-sznii@yandex.ru)

**Tatiana I. Gordeeva**, PhD in Engineering, associate professor, senior researcher, the Department of Agroecology in Livestock Production, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5466-6033>

**Tatyana Yu. Mironova**, PhD in Engineering, researcher, the Department of Agroecology in Livestock Production, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6959-049X>

**Sergey V. Kovalev**, junior researcher, the Department of Agroecology in Livestock Production, the Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production – branch of Federal Scientific Agroengineering Center VIM, 3, Filtrovskoye Shosse, p.o. Tiarlevo, Saint Petersburg, Russian Federation, 196634, e-mail: [nii@sznii.ru](mailto:nii@sznii.ru), ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1310-4283>

✉ – Для контактов / Corresponding author



<https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1191-1204>

УДК 330.112.2 + 338.432



## Теневая экономика в сельском хозяйстве и специфика ее измерения

© 2024. С. В. Киселев, С. К. Сеитов✉, В. А. Самсонов, И. В. Филимонов  
ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова»,  
г. Москва, Российская Федерация

*Несмотря на обширный перечень работ, посвященных анализу теневой экономики, отсутствует методика определения ее масштабов на уровне региона и отдельного вида деятельности по Общероссийскому классификатору ОКВЭД 2. Настоящая работа нацелена восполнить этот пробел, показывая существующие методы учета теневой экономики в сельском хозяйстве. Цель – выявить масштабы теневой экономики в сельском хозяйстве на региональном уровне в России. Новизна состоит в разработке и применении методики оценки теневой экономики в сельском хозяйстве по регионам России. Использован экономико-статистический метод, метод досчета, картографический. Эмпирическая база сформирована на основе официальной статистики. В результате использования авторской методики установлено, что в абсолютном большинстве регионов наблюдается умеренный уровень теневых операций юридических лиц по разделу А согласно Общероссийскому классификатору. Причем уровень дифференциации низок. Лишь в Чукотском автономном округе, Челябинской, Брянской, Липецкой областях и Республике Марий Эл отмечается более высокий уровень данного показателя. В целом в 2017–2022 годах наблюдается тренд сокращения доли теневых операций юридических лиц в валовой добавленной стоимости (ВДС) раздела А «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в регионах России. Он во многом достигается благодаря внедрению федеральных государственных информационных систем, затрудняющих теневой оборот. Вместе с тем при интерпретации результатов важно делать поправку на то, что применение нашей методики может приводить к занижению масштабов теневой экономики, поскольку она не учитывает ее среди сельскохозяйственных организаций, относящихся к субъектам малого предпринимательства, а также среди крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей.*

**Ключевые слова:** масштабы теневой экономики, метод досчета, валовая добавленная стоимость, сельскохозяйственное производство, сельскохозяйственные организации, регионы

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

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

**Конфликт интересов:** авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

**Для цитирования:** Киселев С. В., Сеитов С. К., Самсонов В. А., Филимонов И. В. Теневая экономика в сельском хозяйстве и специфика ее измерения. Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024;25(6):1191–1204.

DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1191-1204>

Поступила: 25.06.2024

Принята к публикации: 05.12.2024

Опубликована онлайн: 25.12.2024

## Shadow economy in agriculture and specifics of its measurement

© 2024. Sergey V. Kiselev, Sanat K. Seitov✉, Valery A. Samsonov,  
Ilya V. Filimonov

Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russian Federation

*Despite the extensive list of works devoted to the analysis of the shadow economy, the issue of determining its scale at the regional level and a separate type of activity (according to the All-Russian Classifier OKVED 2. has not been resolved. This work aims at filling this gap by showing existing methods of accounting for the shadow economy in agriculture. The aim is to identify the scale of the shadow economy in agriculture at the regional level in Russia. The novelty lies in the development and application of a methodology for assessing the shadow economy in agriculture in the Russian regions. The paper uses economic and statistical, calculation, cartographic methods. The paper forms empirical basis on the official statistical data. As a result of using the authors' methodology, the study finds that in the absolute majority of regions there is a moderate level of shadow transactions of legal entities in section A according to the All-Russian Classifier. Moreover, the level of differentiation is low. Only in Chukotka Autonomous Okrug, Chelyabinsk, Bryansk, Lipetsk regions, Mari El Republic there is a higher level of shadow transactions. In general, in 2017–2022 there is a trend towards a reduction in the share of shadow transactions of legal entities in the gross value added (GVA) of section A “Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming” in the regions of Russia. It is largely achieved thanks to the introduction of federal government information systems that make shadow turnover difficult. At the same time, when interpreting the results, it is important to make an adjustment for that our methodology may underestimate the scale of the shadow economy, since it does not consider agricultural organizations that are small business entities, as well as peasant farms and individual entrepreneurs.*

**Keywords:** scale of shadow economy, calculation method, gross value added, agricultural production, agricultural organizations, regions

**Acknowledgements:** the work was done without financial support in the framework of the initiative topics  
The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

**Conflicts of Interest:** the authors stated that there was no conflict of interest.

**For citation:** Kiselev S. V., Seitov S. K., Samsonov V. A., Filimonov I. V. Shadow economy in agriculture and specifics of its measurement. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2024;25(6):1191–1204. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2024.25.6.1191-1204>

Received: 17.05.2024

Accepted for publication: 05.12.2024

Published online: 25.12.2024

Многочисленные публикации посвящены описанию методов измерения теневой экономики в экономике в целом – как на национальном, так и региональном уровнях. Между тем работ, раскрывающих отраслевую специфику учета теневой экономики, в литературе не так много.

А. Г. Светлаков, Н. И. Ширинкина [1] создали методику оценки уровня криминализации агропромышленного комплекса (АПК) на примере региона. Новизна их работы заслуживает внимания исследователей, однако она выходит за рамки настоящей статьи. Это объясняется тем, что «криминальная» теневая экономика остается за пределами нашего рассмотрения в связи с трудностями ее практического измерения по российским данным.

Е. Н. Якубович [2] формулирует предпосылки возникновения и развития теневой экономики в аграрной сфере, в числе которых указал наличие скрытого натурального оборота продукции. Ученый отмечает наличие статистических искажений, одна часть из которых неизбежна и вытекает из действующей практики учета затрат на предприятиях, а другая является результатом манипуляций с целью ухода от налогов или сокрытия хищений.

По мнению В. М. Троценко [3], причиной того, что большинство денежных операций не контролируется налоговыми органами, является отсутствие четко продуманной в перспективе на длительный срок государственной политики путем регулирования рыночных отношений, налогообложения и кредитования сельского хозяйства. А. Г. Светлаков, Б. А. Воронин, Я. В. Воронина [4] добавляют, что такая ситуация возникла в связи с сильной криминализацией в аграрной сфере.

Указанные проблемы требуют своего решения на региональном уровне. Но перед

этим необходима количественная оценка масштабов явления.

Данная статья придерживается терминологии Росстата, согласно которой понятия *теневой, нелегальной и ненаблюдаемой* экономической деятельности не тождественны друг другу, имея разный смысл.

*Теневая (скрытая) экономическая деятельность* включает в себя в большинстве случаев законную экономическую деятельность, которая скрывается или преуменьшается с целью уклонения от уплаты налогов, социальных взносов или выполнения определенных административных обязанностей или предписаний по охране труда, соблюдению санитарных и других норм<sup>1</sup>. Объектом исследования данной статьи выступает именно *теневая (скрытая) экономическая деятельность*.

*Нелегальная экономическая деятельность* является незаконной, то есть она охватывает те виды производства товаров или услуг, которые прямо запрещены существующим законодательством. В настоящее время к таким видам деятельности относятся, например, производство и продажа наркотиков, производство и продажа в обход установленных правил оружия, проституция, контрабанда<sup>2</sup>.

*Ненаблюдаемая экономическая деятельность* – часть национальной экономики, включающая виды экономической деятельности, которые не могут быть оценены на основании прямых методов государственного статистического наблюдения, и представляющая собой совокупность теневой (скрытой), неформальной и незаконной экономической деятельности<sup>3</sup>.

**Цель исследований** – выявить масштабы теневой экономики в сельском хозяйстве на региональном уровне в России.

**Новизна исследований** – разработка и апробация методики оценки теневой экономики в сельском хозяйстве по регионам России.

<sup>1</sup>Федеральная служба государственной статистики. Методологические положения по статистике (выпуск 2, 1998 г.). 1.1.2. Понятие скрытой и неформальной экономической деятельности. [Электронный ресурс].

URL: [https://rosstat.gov.ru/bgd/free/B99\\_10/IssWWW.exe/Stg/d010/i010020r.htm](https://rosstat.gov.ru/bgd/free/B99_10/IssWWW.exe/Stg/d010/i010020r.htm) (дата обращения: 03.11.2024).

<sup>2</sup>Там же.

<sup>3</sup>Там же.

*Материал и методы.* Обзор методов измерения масштабов теневой экономики в сельском хозяйстве. Большинство публикаций посвящено методам измерения теневой деятельности в экономике в целом – как на национальном, так и на региональном уровнях [5, 6, 7, 8]. Вместе с тем в литературе не хватает работ с привязкой методов ее измерения к отдельным отраслям, в частности к сельскому хозяйству.

Отраслевая специфика сельского хозяйства накладывает ограничения при анализе масштабов теневой экономики и необходимость применения особых методов для их преодоления.

Теневая экономика в сельском хозяйстве имеет свои специфические особенности. Широкое распространение наличных расчетов затрудняет контроль за денежными потоками. Высокий уровень сезонной занятости содействует участию сельчан в теневой экономике. Наличие большого количества незарегистрированных предприятий и фермерских хозяйств осложняет контроль за хозяйственной деятельностью.

В условиях недостатка данных о стоимостных объемах производства в растениеводстве можно обращаться к информации о посевных площадях, урожайности, ценах и затратах. Сведения о посевных площадях можно получать по результатам космического мониторинга земель или аэрофотосъемки, статистические данные об урожайности – с помощью обследований валового сбора, информацию о затратах – на основе выборочных обследований сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств К(Ф)Х. Зная не только объемы затрат (промежуточного потребления), валовой продукции, но и цены, можно определять величину валовой добавленной стоимости.

Статистика численности поголовья скота по состоянию на определенные даты за выбранный период полезна для анализа производства животноводческой продукции.

Балансы основных продовольственных ресурсов дают вспомогательную информацию при анализе объемов производства продукции. Их можно использовать при нехватке исходных данных [9].

Сельское хозяйство среди всех отраслей экономики выделяется очень высокой долей производства в неформальном секторе (в личных

подсобных хозяйствах). Так, в России в 2022 г. корректировка валовой добавленной стоимости (ВДС) на операции неформального сектора экономики и на производство домашних хозяйств для собственного конечного использования составляла 25,7 % от НДС раздела А ОКВЭД 2<sup>4</sup>. Лишь деятельность по операциям с недвижимым имуществом превышает в разделе А Общероссийского классификатора ОКВЭД 2 упомянутый показатель (68,1)<sup>5</sup>. Обследования доходов и расходов обеспечивают данные о производстве домашних хозяйств для собственного конечного использования и для реализации на рынке.

Обобщая все подходы, масштабы теневой экономики в сельском хозяйстве можно измерить с помощью следующих методов:

1. Опросы руководства сельскохозяйственных организаций, крестьянских (фермерских) хозяйств об объемах их теневой деятельности и/или об их представлениях о распространенности теневой экономики в сельском хозяйстве. Естественно, с учетом такой темы респонденты будут склонны к уклонению от ответов или предоставлению информации, далекой от истины [10]. Поэтому для повышения достоверности ответов респондентам заявляется другая цель опроса, не связанная с темой теневой экономики. Анкета может начинаться с общих вопросов, касающихся, например, удовлетворенности работой правительства или налоговой политикой, а затем переходить к вопросам, на основе которых можно определить долю теневой экономики в экономической деятельности хозяйствующих субъектов [11].

2. Аудит налогоплательщиков с целью оценки незадекларированных налогооблагаемых доходов. Однако существует риск получения нерепрезентативных оценок при формировании выборки, в которую могут попасть, например, только недобросовестные налогоплательщики, или наоборот [12].

3. Анализ статистических данных о доходах и расходах фермерских хозяйств и предприятий, чтобы выявить расхождения между официальными и неофициальными показателями.

4. Мониторинг рынка труда и занятости для выявления доли неофициальной занятости и сезонной работы.

---

<sup>4</sup>Федеральная служба государственной статистики. Национальные счета. Валовой внутренний продукт. Произведенный ВВП. НДС годы ОКВЭД2 (с 2011 г.). [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 03.11.2024).

<sup>5</sup>Там же.

5. Исследование налоговых отчетов и деклараций предприятий, чтобы выявить расхождения между официальными и неофициальными доходами.

6. Анализ расхождений между статистическими показателями, публикуемыми разными организациями и ведомствами. В частности, это могут быть расхождения между объемами прибыли (согласно данным Росстата и Федеральной налоговой службы), валовым сбором культур, площадями сельскохозяйственных угодий, пахотных земель и т.д.

7. Сопоставление объемов сырья и выхода готовой продукции, прослеживание цепочки товарно-денежных потоков от покупки сырья и производства продукции до конечной реализации.

8. Использование данных дистанционного зондирования Земли для выявления скрытых посевных площадей. Некоторые фермеры возделывают больше земли, чем показывают в отчетности, и полученная продукция сбывается за наличные деньги. При этом достигается экономия на налогах на оплату труда – за счет заработных плат «в конвертах». В дополнение можно сравнивать данные, содержащиеся в различных источниках: в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения и землях; Едином государственном реестре недвижимости; Федеральной системе территориального планирования.

9. Применение модельного подхода, в частности модели MIMIC (*Multiple Indicators and Multiple Causes*), позволяющей на основе косвенных показателей оценить ненаблюдаемый фактор.

10. Подход, основанный на анализе объемов потребления электроэнергии [13]. Фактический объем потребления электроэнергии сравнивается с предполагаемым уровнем ее использования при заданном уровне выпуска. В соответствии с этим подходом, соотношение потребления электроэнергии и выпуска можно оценить эконометрически, и отклонения от него отнести к теневой экономической деятельности.

11. Анализ расхождений между значениями потребления продовольствия, рассчитанными с применением балансового метода, и значениями, полученными на базе выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств.

В частности, превышение потребления овощей и картофеля, рассчитанного с применением балансового метода, над соответствующими показателями, полученными с помощью выборочного обследования бюджетов домашних хозяйств, может быть вызвано завышением балансового производства овощей и картофеля в хозяйствах населения России<sup>6</sup>. При этом для целей сопоставимости необходимо предварительно вычитать из балансовых данных объем потребления коллективных домохозяйств (больниц, детских домов и т.д.) и объем питания вне дома (в столовых, ресторанах и т.д.).

Из вышепредставленных методов к прямым относятся только опросы хозяйствующих субъектов и аудит налогоплательщиков. Оба метода трудоемки, причем первый сопряжен с риском утаивания или намеренного искажения информации респондентами. В этой связи в рамках данной статьи предпочтение отдается косвенным методам измерения теневой экономики.

Е. Н. Невзорова, А. П. Киреенко, И. А. Майбуров [7] приводят результаты расчетов доли теневых операций в регионах по отношению к валовому региональному продукту (ВРП). Авторы исходят из допущения, что в рамках одного раздела ОКВЭД масштаб теневых операций по регионам не различается. Поэтому для получения показателя достаточно провести корректировку ВДС на операции юридических лиц. На наш взгляд, указанное допущение может сильно исказить реальные данные. Оно не учитывает региональные различия в уровне теневой экономики. В частности, не принимаются во внимание показатели, которые могут влиять на масштабы теневой экономики – затраты и оборот. Хозяйствующие субъекты с целью уменьшения налогооблагаемой базы занижают объем оборота и завышают объем затрат.

Особого внимания заслуживает методология Росстата, принятая за основу в рамках данного исследования. Методика расчета выпуска ненаблюдаемой экономической деятельности представлена в Приказе Росстата от 21.12.2023 № 676<sup>7</sup>. По растениеводству и животноводству учет теневого производства осуществляется по результатам Всероссийской сельскохозяйственной переписи путем соотнесения информации из федерального статистического наблюдения и переписи. Отчетность Росстата основана

<sup>6</sup>Белугин А. Ю. Продовольственная безопасность Российской Федерации и ее измерение в современных условиях: дис. ... канд. экон. наук. М.: МГУ имени М. В. Ломоносова, 2017. 186 с.

<sup>7</sup>Приказ Росстата от 21.12.2023 № 676 «Об утверждении Официальной статистической методологии расчета объемов ненаблюдаемой экономической деятельности при формировании валового внутреннего продукта Российской Федерации». [Электронный ресурс]. URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosstata-ot-21122023-n-676-ob-utverzhenii-ofitsialnoi/> (дата обращения: 01.11.2024).



на использовании коэффициента досчета, и на основе полученных с помощью этой корректировки результатов делается вывод о масштабах теневой экономики.

В то же время в упомянутом Приказе Росстата по разделу А ОКВЭД 2 информация о расчете как ненаблюдаемой деятельности в целом, так и теневой ее составляющей представляется скудной. И это связано не с нежеланием органов государственной статистики предоставлять такие данные, а с трудностью их получения. Зато по другим разделам ОКВЭД 2 методика расчета наполнена более содержательными выкладками – например, по разделу С ОКВЭД 2 «Обработывающие производства». Он нам интересен тем, что *производство пищевых продуктов* (как известно, использующее в качестве сырья продукцию сельского хозяйства) входит в его состав. Кратко опишем методику определения доли теневых операций юридических лиц в валовой добавленной стоимости по  $i$ -му виду деятельности ( $\lambda_i$ ) на общероссийском уровне, осуществляемую Росстатом в четыре этапа. Под видом деятельности в данном случае понимается раздел С ОКВЭД 2.

На первом этапе вычисляется отношение начисленной суммы налога на добавленную стоимость (НДС) к выпуску товаров и услуг в экономике<sup>8</sup>:

$$K_{VAT} = \frac{VAT}{O_{lm}}, \quad (1)$$

где  $K_{VAT}$  – отношение начисленной суммы НДС к выпуску товаров и услуг в экономике;  $VAT$  – объем начисленной суммы НДС (руб.);  $O_{lm}$  – выпуск товаров и услуг в экономике (руб.).

На втором этапе определяется доля выпуска товаров и услуг по разделу С ОКВЭД 2 в общем объеме выпуска по экономике<sup>9</sup>:

$$shO^C = \frac{O_{lm}^C + SHT_{lm}^C}{(O_s + SHT_s)}, \quad (2)$$

где  $O_{lm}^C$  – выпуск товаров и услуг организаций, не относящихся к субъектам малого предпринимательства, по разделу С ОКВЭД 2 (руб.);  $SHT_{lm}^C$  – стоимость отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами (без НДС, акцизов и аналогичных обязательных платежей) малыми

предприятиями (включая микропредприятия) по разделу С ОКВЭД 2 (руб.);  $O_s$  – выпуск товаров и услуг организациями, не относящимися к субъектам малого предпринимательства, в целом по экономике (руб.);  $SHT_s$  – стоимость отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами (без НДС, акцизов и аналогичных обязательных платежей) малыми предприятиями (включая микропредприятия) по экономике в целом (руб.).

На третьем этапе определяется объем теневых операций юридических лиц<sup>10</sup>:

$$O_H^{lms} = \frac{VAT_{add} \times shO^C}{k_{VA}} \quad (3)$$

где  $O_H^{lms}$  – объем теневых операций юридических лиц (руб.);  $VAT_{add}$  – объем платежей по НДС, дополнительно начисленных налоговыми органами по результатам выездных и камеральных проверок (руб.);  $shO^C$  – доля выпуска товаров и услуг организаций по разделу С ОКВЭД 2 в общем выпуске по экономике;  $k_{VA}$  – отношение суммы НДС, подлежащей перечислению в бюджет, и выпуска товаров и услуг по экономике.

На четвертом этапе определяется ключевой для нашей методики показатель – доля теневых операций юридических лиц в валовой добавленной стоимости по  $i$ -му виду деятельности (по разделу С ОКВЭД 2) в году  $t$  в масштабах РФ:

$$\lambda_{it} = \frac{O_H^{lms}}{VA_{it}}, \quad (4)$$

где  $\lambda_{it}$  – доля теневых операций юридических лиц в валовой добавленной стоимости по  $i$ -му виду деятельности (по разделу С ОКВЭД 2) в году  $t$  в масштабах РФ;  $O_H^{lms}$  – объем теневых операций юридических лиц (руб.);  $VA_{it}$  – валовая добавленная стоимость  $i$ -го вида деятельности в году  $t$  в масштабах РФ (руб.).

Под коэффициентом  $\lambda_{it}$  можно понимать публикуемый Росстатом показатель, а именно *корректировку валовой добавленной стоимости на теневые операции юридических лиц (в % к валовой добавленной стоимости по  $i$ -му виду деятельности)*<sup>11</sup>.

<sup>8</sup>URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosstata-ot-21122023-n-676-ob-utverzhenii-ofitsialnoi/> (дата обращения: 01.11.2024).

<sup>9</sup>Там же.

<sup>10</sup>Там же.

<sup>11</sup>Федеральная служба государственной статистики. Национальные счета. Валовой внутренний продукт. Произведенный ВВП. ВДС годы ОКВЭД2 (с 2011 г.). [Электронный ресурс].

URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 02.11.2024).



Методологию Росстата мы применяем для оценки масштабов теневой экономики в отраслях в региональном разрезе. В итоге появляется возможность сравнения разных регионов России по уровню теневой экономики, выделения из них «лидирующих» и «проблемных».

В ходе исследования мы частично опираемся на методологию Росстата и под «теневой экономикой» подразумеваем объем выпуска теневых операций юридических лиц. Анализ проводили по сельскохозяйственным организациям, не относящимся к субъектам малого предпринимательства, средняя численность работников которых превышает 15 человек. При расчете объемов теневого производства не учитывался объем выпуска скрытого производства индивидуальных предпринимателей без образования юридического лица, что объясняется отсутствием данных.

В данном исследовании для оценки объема теневых операций юридических лиц мы использовали корректировку валовой добавленной стоимости на теневые операции юридических лиц (в % к валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2 «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство»)<sup>12</sup>. Методика расчета изложена в работе [14]. Ее отличие от методологии Росстата состоит в учете показателей, с помощью которых можно скорректировать масштабы теневой экономики в зависимости от субъектов РФ. К таким показателям мы относим затраты и оборот сельскохозяйственных организаций, опираясь на предположку о том, что они с целью уменьшения налогооблагаемой базы занижают в своей отчетности данные об обороте и завышают о затратах. Кроме того, нередки случаи, когда сельскохозяйственные организации прибегают

к незаконным схемам по возмещению НДС. Одной из причин, по которой юридические лица ведут теневую деятельность в сельском хозяйстве, является стремление к получению преимущества над конкурентами, которые соблюдают налоговое законодательство<sup>13</sup>.

В качестве исходных данных по затратам на производство продукции растениеводства и животноводства использовали информацию ЕМИСС, сформированную на основе годовой отчетности по форме 1-предприятие «Основные сведения о деятельности организации»<sup>14</sup>. Данные об обороте формируются на базе формы П-1 «Сведения о производстве и отгрузке товаров и услуг» и берутся на сайте ЕМИСС<sup>15</sup>.

Объем теневых операций юридических лиц по разделу А ОКВЭД 2 в субъекте РФ вычисляется по формуле (5):

$$TЭ_{it} = ВДС_{it} \times \beta_{it} \times \left( \frac{Z_{it}}{Q_{it}} \div \frac{Z_{rt}}{Q_{rt}} \right), \quad (5)$$

где  $TЭ_{it}$  – объем теневых операций юридических лиц по разделу А ОКВЭД 2 в  $i$ -м субъекте РФ в году  $t$  (руб.);  $ВДС_{it}$  – валовая добавленная стоимость по разделу А ОКВЭД 2 в  $i$ -м субъекте РФ в году  $t$  (руб.)<sup>16</sup>;  $\beta_{it}$  – корректировка ВДС на теневые операции юридических лиц в % к валовой добавленной стоимости по разделу А ОКВЭД 2 в году  $t$  в масштабах РФ, %<sup>17</sup>;  $Z_{it}$  и  $Z_{rt}$  – затраты на производство и реализацию продукции  $i$ -го субъекта РФ и РФ соответственно по разделу А ОКВЭД 2 в году  $t$  (руб.)<sup>18</sup>;  $Q_{it}$  и  $Q_{rt}$  – оборот организаций (без субъектов малого предпринимательства, банков страховых и прочих финансовых организаций)  $i$ -го субъекта РФ и России соответственно по разделу А ОКВЭД 2 в году  $t$  (руб.)<sup>19</sup>.

<sup>12</sup>URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts>

<sup>13</sup>Сухорукова Е., Губернаторов Е., Савкина А., Парфентьева И. Истина в зерне: почему ФСБ и ФНС массово проверяют агрохолдинги. РБК. 13.02.2019. [Электронный ресурс].

URL: <https://www.rbc.ru/business/13/02/2019/5c63f1049a79474393c14800> (дата обращения: 03.11.2024).

<sup>14</sup>ЕМИСС. Затраты на производство и реализацию продукции (товаров, работ, услуг) с 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58552> (дата обращения: 02.11.2024).

<sup>15</sup>ЕМИСС. Оборот организаций с 2017 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/57710#> (дата обращения: 04.11.2024).

<sup>16</sup>ЕМИСС. Валовой региональный продукт в основных ценах (ОКВЭД 2). [Электронный ресурс].

URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/61497> (дата обращения: 01.11.2024).

<sup>17</sup>Федеральная служба государственной статистики. Национальные счета. Валовой внутренний продукт. Произведенный ВВП. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/statistics/accounts> (дата обращения: 02.11.2024).

<sup>18</sup>ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58552>

<sup>19</sup>ЕМИСС. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/57710#>

Доля теневой экономики по отношению к ВДС и объему теневой экономики по разделу А ОКВЭД 2 по субъектам РФ рассчитывается по формуле (6):

$$\text{ShEcon}_{it} = \frac{TЭ_{it}}{\text{ВДС}_{it} + TЭ_{it}} \times 100\%, \quad (6)$$

где  $TЭ_{it}$  – объем теневых операций юридических лиц по разделу А ОКВЭД 2 в  $i$ -м субъекте РФ в году  $t$  (руб.);  $\text{ВДС}_{it}$  – валовая добавленная стоимость по разделу А ОКВЭД 2 в  $i$ -м субъекте РФ в году  $t$  (руб.).

Отличие методики, применяемой в настоящей статье, от работы [16] состоит, во-первых, в новом классификаторе – ОКВЭД 2<sup>20</sup>, а не ОКВЭД ОК 029-2007<sup>21</sup>. Теперь в раздел А включаются рыболовство и рыбоводство, тогда как в предыдущем классификаторе ОКВЭД учитывались лишь сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство.

Во-вторых, в итоговой формуле рассчитывается доля теневой деятельности по отношению только к ВДС (без добавления в знаменатель объема теневой деятельности, поскольку Росстат уже учитывает ее в составе ВДС).

На основе полученных результатов формируются рейтинги субъектов РФ с самыми высокими и низкими долями теневой деятельности в ВДС по разделам ОКВЭД 2. Анализ проводили по 80 субъектам РФ за 2017–2022 гг. По причине отсутствия данных в выборку не попали новые территории, присоединенные к РФ в 2022 году.

**Результаты и их обсуждение.** В целом для российских регионов характерна слабая дифференциация по доле теневых операций юридических лиц в ВДС раздела А ОКВЭД 2, которая варьирует от 0,3 % в Еврейской автономной области до 4,1 % в Чукотском автономном округе. В последнем высокий показатель достигнут за счет низкой ВДС, на фоне которой объем теневых операций выглядит внушительным. Более того, в среднем за 2017–2022 годы сельскохозяйственные организации обеспечивают 93,0 % продукции сельского хозяйства региона. В Еврейской автономной области малый вклад сельскохозяйственных организаций в объем продукции сельского хозяйства (14,1 %) обуславливает низкую долю теневых операций юридических лиц в ВДС.

Уровень показателя выше умеренного (2,0–3,0 %) присущ регионам, где природно-климатические условия не позволяют достигать высокой ВДС в сельском хозяйстве (Тюменская область, Республики Коми, Саха (Якутия)). Есть и другая группа регионов со значениями выше умеренных, где, напротив, природно-климатические условия более благоприятны (Брянская, Липецкая, Тамбовская, Белгородская области, Ставропольский край). В этих регионах доминируют агрохолдинги, имеющие больше возможностей широкого использования механизмов налоговой оптимизации. В этой связи доля теневых операций в указанных субъектах РФ выше, несмотря на высокие абсолютные значения ВДС отрасли.

Подавляющая часть субъектов РФ отличается умеренным уровнем показателя (1,0–2,0 %). Это многочисленные субъекты РФ в Центральном, Приволжском, Северо-Западном, Сибирском ФО (рис. 1).

Для сравнения отраслей представим результаты по разделу С ОКВЭД 2 «Обрабатывающие производства». Юридические лица, ведущие деятельность в разделе С ОКВЭД 2, имеют больший объем теневых операций в сравнении с разделом А ОКВЭД 2. Соответственно разброс значений здесь больше. Республика Калмыкия занимает первую позицию в рейтинге субъектов РФ с самой высокой долей теневых операций юридических лиц по отношению к ВДС раздела С ОКВЭД 2 (10,1 % в среднем за 2017–2022 гг.). На втором месте – Архангельская область (5,3 %), на третьем – Республика Башкортостан и Амурская область (по 4,9 %) (рис. 2).

В 2017–2022 годах в России наблюдается нисходящая динамика доли теневых операций юридических лиц по отношению к валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2.

Покажем эту динамику на примере субъектов Северо-Западного ФО. Если в Республике Коми в 2017 году этот показатель составлял 3,4 %, то по итогам 2022 года он сократился до 1,7 %, в Калининградской области уменьшился с 1,7 до 1,3 % за аналогичный период. В Новгородской, Вологодской, Ленинградской областях прослеживалась примерно схожая динамика с трендом на снижение доли теневых операций (рис. 3).

<sup>20</sup>Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОКВЭД ОК 029-2014. [Электронный ресурс]. URL: <https://xn--2-dlc2ax1i.xn--plai/> (дата обращения: 01.11.2024).

<sup>21</sup>Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД). ОКВЭД ОК 029-2007. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200074342> (дата обращения: 01.11.2024).



Рис. 1. Доля теневых операций юридических лиц по отношению к валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2 «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в субъектах РФ в среднем за 2017–2022 гг., % /

Fig. 1. The share of shadow transactions of legal entities in relation to the gross value added of section A of OKVED 2 “Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming” in the constituent entities of the Russian Federation on average for 2017–2022, %

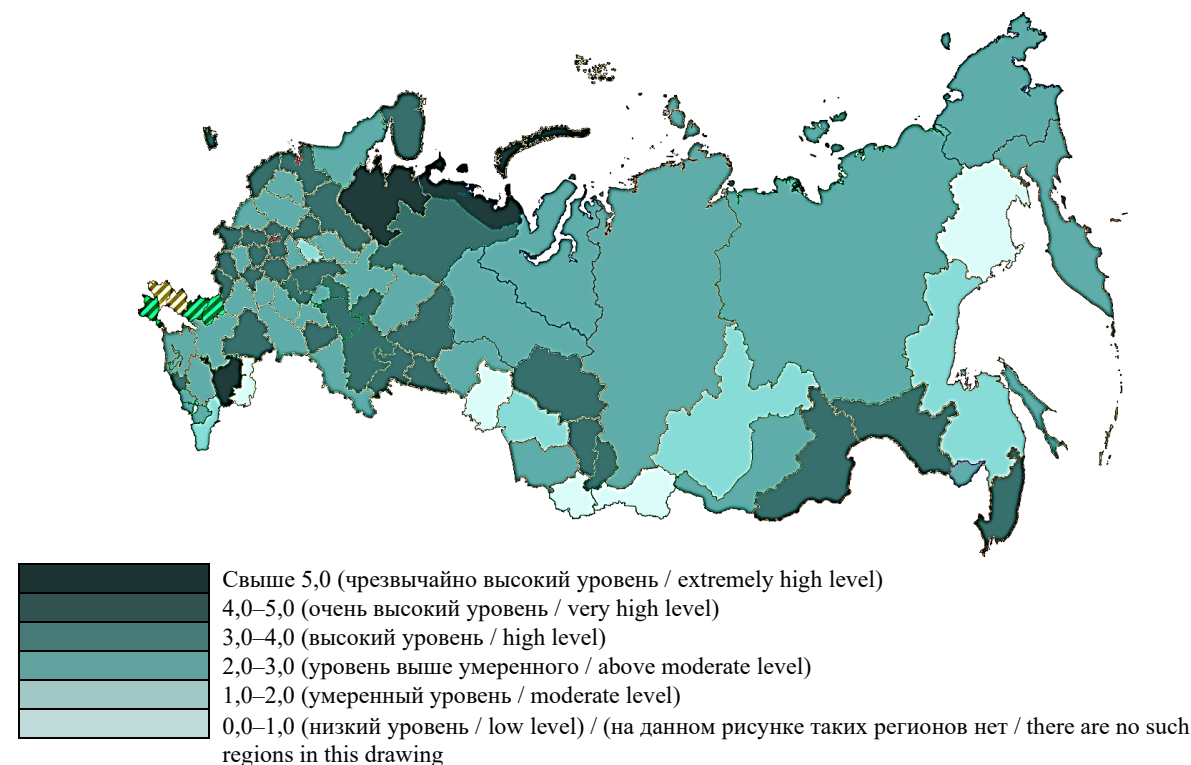


Рис. 2. Доля теневых операций юридических лиц по отношению к валовой добавленной стоимости раздела С ОКВЭД 2 «Обрабатывающие производства» в субъектах РФ в среднем за 2017–2022 гг., % /

Fig. 2. The share of shadow transactions of legal entities in relation to the gross value added of section C of OKVED 2 “Manufacturing industries” in the constituent entities of the Russian Federation on average for 2017–2022, %

Источник: составлено и рассчитано авторами на основе материалов ЕМИСС, Федеральной службы государственной статистики / Source: compiled and calculated by the authors based on materials from UIISS, the Federal State Statistics Service.

Примечание: Новые территории РФ после референдума 2022 года обозначены штриховкой /

Note: The new regions of the Russian Federation after the 2022 referendum are indicated by shading.

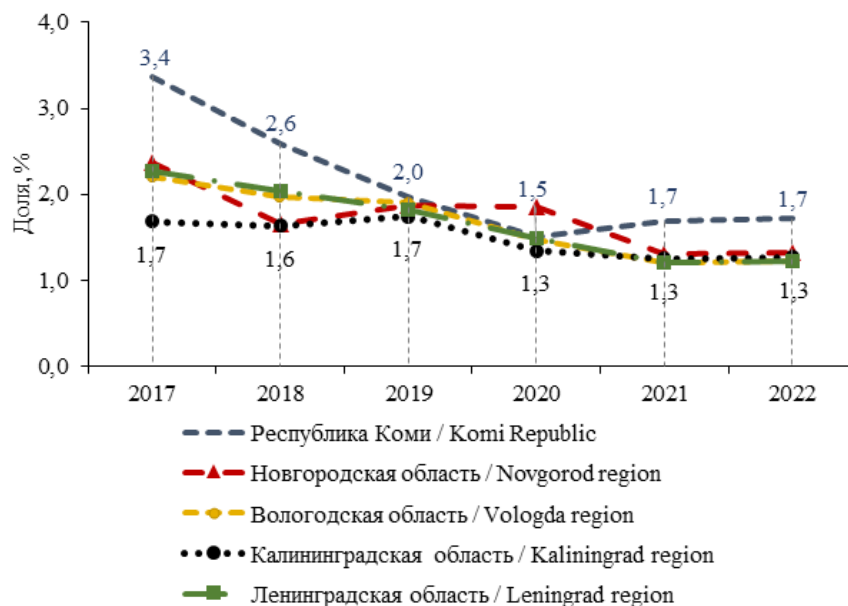


Рис. 3. Доля теневых операций юридических лиц по отношению к валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2 «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в субъектах Северо-Западного ФО за 2017–2022 гг., % /

Fig. 3. The share of shadow transactions of legal entities in relation to the gross value added of section A of OKVED 2 “Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming” in the constituent entities of the Northwestern Federal District in 2017–2022, %

Источник: составлено и рассчитано авторами на основе материалов ЕМИСС, Федеральной службы государственной статистики / Source: compiled and calculated by the authors based on materials from UIISS, the Federal State Statistics Service.

В Приволжском ФО вырисовывается схожая картина снижения доли теневых операций юридических лиц по отношению к валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2, как и в Северо-Западном. К примеру, в Республике Марий Эл эта доля в 2022 году составила

1,4 % (против 4,7 % в 2017 году). В Нижегородской области сокращение достигло 1,3 % в 2022 году с 2,7 % в 2017 году. Кировская область продемонстрировала снижение показателя на 1,4 п. п. – до 1,3 % в 2022 году (рис. 4).

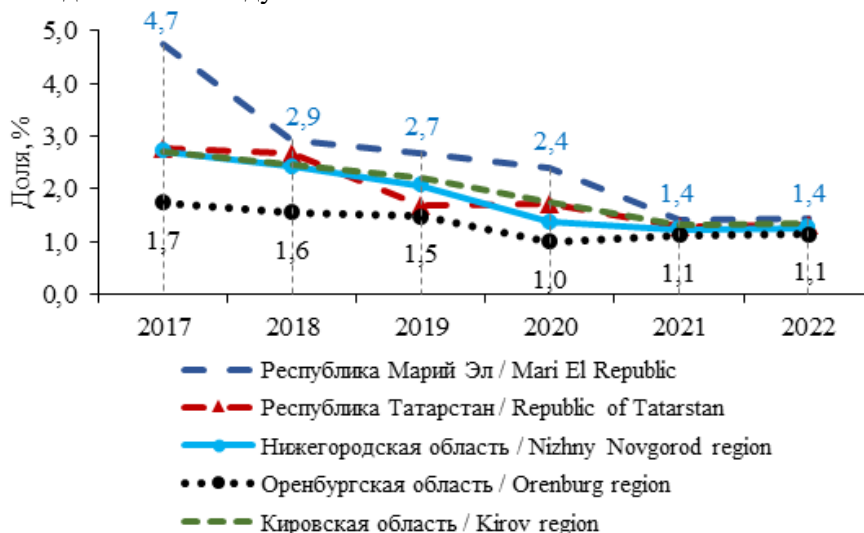


Рис. 4. Доля теневых операций юридических лиц по отношению к валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2 «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в субъектах Приволжского ФО за 2017–2022 гг., % /

Fig. 4. The share of shadow transactions of legal entities in relation to the gross value added of section A of OKVED 2 “Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming” in the constituent entities of the Volga Federal District in 2017–2022, %

Источник: составлено и рассчитано авторами на основе материалов ЕМИСС, Федеральной службы государственной статистики /

Source: compiled and calculated by the authors based on materials from UIISS, the Federal State Statistics Service.



Большинство субъектов РФ, лидирующих по вкладу в общероссийский объем теневых операций юридических лиц в разделе А ОКВЭД 2, также занимают высокие позиции по вкладу в валовую добавленную стоимость раздела А по России. Указанное справедливо для 7 из 10 лидирующих субъектов РФ: Краснодарского и Ставропольского краев, Республики Татарстан, Белгородской, Воронежской, Ростовской и Саратовской областей (табл.).

Группа субъектов РФ со средними по России значениями вклада в показатели сама по себе очень обширна. В частности, это Республика Мордовия, Рязанская, Калининградская области – они сопоставимы между собой по вкладу в общероссийскую ВДС раздела А ОКВЭД 2 (от 0,8 до 1,0 % в среднем за 2017–2022 гг.). Схожее наблюдение касается Пермского края, Кемеровской, Кировской, Калужской, Тверской областей, чей аналогичный показатель составляет 0,7 % (табл.).

Субъекты РФ с самыми низкими значениями вклада в общероссийский объем теневых операций юридических лиц по разделу А ОКВЭД 2: Костромская, Ивановская области, Чукотский автономный округ, республики Ингушетия, Бурятия, Хакасия, Тыва, Алтай, а также Еврейская автономная область (табл.).

*Обсуждение результатов.* В целом можно сделать вывод о наличии корреляции между вкладом субъектов РФ в общероссийский объем теневых операций юридических лиц раздела А ОКВЭД и вкладом в валовую добавленную стоимость раздела А по России. Корреляция вызвана большими абсолютными объемами валовой добавленной стоимости, которым, как правило, сопутствует значительный объем теневых операций в абсолютном выражении.

Полученные результаты (рис. 3, 4) также являются следствием снижения показателя корректировки валовой добавленной стоимости на теневые операции юридических лиц по разделу А ОКВЭД 2. При дальнейшем распространении цифровых решений можно ожидать низкие масштабы теневой экономики среди юридических лиц в сельском хозяйстве. Во-первых, именно юридические лица подвергаются большому контролю со стороны налоговых органов, что также может объяснять сравнительно низкий уровень теневой эконо-

мики, оцененный в соответствии с нашей методикой. Во-вторых, они в первую очередь попадают под сферу контроля со стороны федеральных государственных информационных систем (ФГИС «Зерно», ФГИС «Сатурн», ФГИС «ВетИС», ЕФИС ЗСН и др.). Без регистрации продукции в государственных информационных системах ее реализация в официальных каналах невозможна. С каждым годом охват их контролем расширяется, а риск выявления теневых оборотов усиливается. Несоблюдение правил ведения документации, учета продукции чревато серьезным ущербом для бизнеса, вплоть до его приостановки судебным решением. В этой связи неудивителен вывод о сокращении масштабов теневой экономики среди юридических лиц.

Обратим внимание на проблему достоверности статистических данных о продукции сельского хозяйства в России. Как правило, после Всероссийских сельскохозяйственных переписей данные Росстата о сельскохозяйственном производстве пересматриваются, причем изменения происходят в сторону снижения. Данные меняются не только по хозяйствам населения, учет производства в которых затруднен, но и в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах. Важно объяснить это явление, предполагая, что официальные данные учитывают теневую деятельность сельскохозяйственных организаций. Так, в данных о валовой добавленной стоимости сельского хозяйства, публикуемых Росстатом, уже учтена теневая экономическая деятельность.

После Всероссийских сельскохозяйственных переписей данные о сельскохозяйственном производстве пересматриваются в сторону снижения, так как изначально эти данные были искажены из-за «приписок»<sup>22</sup>. Причем «приписки» относятся главным образом к продукции хозяйств населения, поскольку впоследствии по ним сложнее выявить манипуляции с данными<sup>23</sup>. Они подвергаются лишь выборочным обследованиям, не дающим полной картины по объемам продукции. А сельскохозяйственные организации попадают под сплошной учет статистическими органами, поэтому информация по ним более прозрачная и достоверная, ее сложнее исказить.

<sup>22</sup>Комментарий. Когда начинаются проблемы в отрасли, возникают претензии к статистике. KVEDOMOSTI.RU. 09.01.2019. [Электронный ресурс]. URL: [https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_1718578.pdf](https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_1718578.pdf) (дата обращения: 06.11.2024).

<sup>23</sup>Комментарий. Узун: причины завышения данных аграрной статистики: плохая методология или приписки? KVEDOMOSTI.RU. 10.01.2019. [Электронный ресурс]. URL: [https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub\\_1718578.pdf](https://agro.tatarstan.ru/rus/file/pub/pub_1718578.pdf) (дата обращения: 06.11.2024).



*Таблица – Вклад субъектов РФ в общероссийский объем теневых операций юридических лиц и в валовую добавленную стоимость раздела А ОКВЭД в среднем за 2017–2022 годы, % /*

*Table – Contribution of the constituent entities of the Russian Federation to the all-Russian volume of shadow transactions of legal entities and to the gross value added of section A of OKVED on average for 2017–2022, %*

<i>Субъекты РФ / Constituent entities of the RF</i>	<i>Вклад субъектов РФ в общероссийский объем теневых операций юридических лиц раздела А ОКВЭД 2 / Contribution of the constituent entities of the RF to the all-Russian volume of shadow transactions of legal entities, section A of OKVED</i>	<i>Вклад субъектов РФ в общерос- сийскую ВДС раздела А ОКВЭД 2 / Contribution of the constituent entities of the RF to the all-Russian GVA, section A of OKVED</i>
<b>Субъекты РФ с самыми высокими значениями вклада в показатели / Constituent entities of the RF with the highest contribution to indicators</b>		
Краснодарский край / Krasnodar Krai	5,5	6,6
Белгородская область / Belgorod region	4,8	3,9
Республика Татарстан / Republic of Tatarstan	3,9	3,6
Воронежская область / Voronezh region	3,6	3,5
Ставропольский край / Stavropol Krai	3,5	2,7
Челябинская область / Chelyabinsk region	3,3	1,9
Ростовская область / Rostov region	3,1	4,5
Тамбовская область / Tambov region	3,0	2,4
Саратовская область / Saratov region	2,6	2,5
Брянская область / Bryansk region	2,6	1,7
<b>Субъекты РФ со средними по России значениями вклада в показатели / Constituent entities of the RF with the moderate contribution to indicators</b>		
Самарская область / Samara region	1,0	1,8
Республика Мордовия / Republic of Mordovia	1,0	0,9
Рязанская область / Ryazan region	0,5	1,0
Тульская область / Tula region	0,9	1,1
Пермский край / Perm Krai	0,8	0,7
Кемеровская область / Kemerovo region	0,8	0,7
Кировская область / Kirov region	0,8	0,7
Калужская область / Kaluga region	0,7	0,7
Тверская область / Tver region	0,7	0,7
Калининградская область / Kaliningrad region	0,7	0,8
Вологодская область / Vologda region	0,6	0,7
<b>Субъекты РФ с самыми низкими значениями вклада в показатели / Constituent entities of the RF with the lowest contribution to indicators</b>		
Республика Калмыкия / Republic of Kalmykia	0,2	0,5
Костромская область / Kostroma region	0,2	0,3
Республика Ингушетия / Republic of Ingushetia	0,2	0,2
Республика Бурятия / Republic of Buryatia	0,2	0,3
Республика Северная Осетия – Алания / Republic of North Ossetia – Alania	0,2	0,5
Чукотский автономный округ / Chukotka Autonomous Okrug	0,1	0,1
Республика Хакасия / Republic of Khakassia	0,1	0,2
Ивановская область / Ivanovo region	0,1	0,2
Республика Тыва / Republic of Tyva	0,1	0,1
Республика Алтай / Republic of Altai	0,1	0,2
Еврейская автономная область / Jewish Autonomous Region	0,0	0,1

*Источник: составлено и рассчитано авторами на основе материалов ЕМИСС, Федеральной службы государственной статистики / Source: compiled and calculated by the authors based on materials from UISS, the Federal State Statistics Service.*

Из вышесказанного следует, что полученные нами данные о масштабах теневой экономики среди сельскохозяйственных организаций можно считать достоверными. Согласно нашим расчетам, указанные масштабы невелики, и они, вероятнее всего, значительно уступают объемам «приписок» продукции сельского хозяйства.

В используемой нами методике в показателе «оборот организаций» представлен оборот сельскохозяйственных организаций без учета субъектов малого предпринимательства. Аналогичное замечание касается показателя «затраты на производство и реализацию продукции (товаров, работ, услуг)». Ученые [16, 17], занимающиеся оценкой теневой составляющей, считают, что как раз предприятия малого предпринимательства дают основной вклад в теневую деятельность. К. С. Ладыгина на данных по предприятиям обрабатывающей промышленности России доказывает, что чем крупнее предприятие, тем реже оно фальсифицирует отчетность [18]. По сравнению с крупными предприятиями, значимо чаще фальсифицируют отчетность малые фирмы, в то время как средние фирмы демонстрируют примерно такой же уровень, что и крупные [18]. Одной из целей фальсификации отчетности может являться снижение налогооблагаемой базы фирмы.

Особенностью авторской методики является фокус на *теневой экономике*, а не на *ненаблюдаемой*. Это означает, что она не рассматривает субъектов неформального сектора (хозяйств населения, крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей (К(Ф)Х и ИП)), которые вносят большой вклад в формирование *ненаблюдаемой экономики* в сельском хозяйстве. В результате регионы, в структуре сельскохозяйственного производства которых преобладают хозяйства населения, имеют более низкий показатель теневой экономики (поскольку она по определению не охватывает субъектов неформального сектора). Это, прежде всего, Астраханская область (доля хозяйств населения в продукции сельского хозяйства в среднем за 2017–2022 гг. – 40,9 %), Республика Калмыкия (48,5 %), Республика Дагестан (76,4 %), Республика Ингушетия (51,0 %), Республика Северная Осетия – Алания (56,5 %), Республика Тыва (73,6 %), Республика Алтай (56,6 %), Хабаровский край (78,8 %).

И наоборот, при преобладании сельскохозяйственных организаций в структуре сельскохозяйственного производства регионы получают более высокое значение показателя. Среди таких можно назвать, в частности, Брянскую (доля сельскохозяйственных организаций в продукции сельского хозяйства в среднем за 2017–2022 гг. – 73,8 %), Белгородскую (86,6 %), Липецкую (76,2 %), Тамбовскую (73,4 %), Челябинскую (60,4 %), Тюменскую (61,1 %), Свердловскую (61,7 %) области, Пермский (64,8 %), Ставропольский (68,2 %) края, республики Марий Эл (70,1 %), Удмуртия (66,3 %).

В рамках приоритизации борьбы с теневой экономикой более пристальное внимание следует уделять тем регионам, где уровень теневой экономики значительно превышает среднероссийский показатель.

**Заключение.** Применение метода досчета на основе данных Росстата позволило получить оценки региональных масштабов теневой экономики в сельском хозяйстве России. В результате выявлена тенденция снижения ее масштабов, если учитывать ее относительно валовой добавленной стоимости раздела А ОКВЭД 2. Более того, для большинства регионов характерен умеренный уровень теневой экономики в сельском хозяйстве. При сопоставлении с другими разделами ОКВЭД 2 (например, С) можно заключить, что ситуация в целом более благоприятная. Это обусловлено особенностью расчета показателя, включающего теневые операции только среди юридических лиц. Использование нашего подхода может приводить к занижению оценок теневой экономики, так как он не учитывает ее среди сельскохозяйственных организаций, относящихся к субъектам малого предпринимательства, а также среди крестьянских (фермерских) хозяйств и индивидуальных предпринимателей. Регионы, где в структуре производства доминируют хозяйства населения, имеют более низкий уровень теневой экономики согласно нашим результатам.

При соотнесении вклада субъектов РФ в общероссийский объем теневых операций юридических лиц раздела А ОКВЭД 2 со вкладом в валовую добавленную стоимость раздела А по России найдена корреляция. Она обусловлена значительными абсолютными объемами валовой добавленной стоимости, которые, как правило, сопровождаются высоким абсолютным объемом теневых операций.

*Список литературы*

1. Светлаков А. Г., Ширинкина Н. И. Методические особенности оценки уровня криминализации АПК региона. *Аграрный вестник Урала*. 2013;(5(111)):82–84. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20264776> EDN: RBLUUP
2. Якубович Е. Н. Теневая экономика в аграрном секторе страны. *Никоновские чтения*. 2015;(20-1)83–86. Режим доступа: <https://elibrary.ru/vzkzdz> EDN: VZKZDZ
3. Троценко В. М. Противодействия теневым процессам как основа обеспечения экономической безопасности в агропромышленном комплексе. *Московский экономический журнал*. 2019;(9):197–204. DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-19032> EDN: IRBSNT
4. Светлаков А. Г., Воронин Б. А., Воронина Я. В. Совершенствование системы декриминализации сферы АПК региона. *Аграрный вестник Урала*. 2018;(12(179)):74–81. DOI: [https://doi.org/10.32417/article\\_5c407a7bab6b63.59604647](https://doi.org/10.32417/article_5c407a7bab6b63.59604647) EDN: ZAEPHV
5. Федотов Д. Ю., Невзорова Е. Н., Орлова Е. Н. Налоговый метод расчета величины теневой экономики российских регионов. *Региональная экономика: теория и практика*. 2017;15(11):2015–2032. DOI: <https://doi.org/10.24891/re.15.11.2015> EDN: ZSJGNN
6. Криворотов В. В., Калина А. В., Подберезная М. А. Оценка масштабов распространения теневой экономики на региональном уровне. *Вестник УрФУ. Серия экономика и управление*. 2019;18(4):540–555. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39950865> EDN: KLDBFC
7. Невзорова Е. Н., Киреев А. П., Майбуров И. А. Пространственные взаимосвязи и закономерности распространения теневой экономики в России. *Экономика региона*. 2020;16(2):464–478. DOI: <https://doi.org/10.17059/2020-2-10> EDN: FDHSBL
8. Беркович М. И., Шурьгин А. А. Теневая экономика в России: экономико-статистическая оценка масштаба и меры по его сокращению в стране и регионах. *Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз*. 2021;14(5):70–84. DOI: <https://doi.org/10.15838/esc.2021.5.77.4> EDN: MUMQL
9. Измерение ненаблюдаемой экономики: руководство. Пер. с англ. М.: Статистика России (ОИПД ГМЦ Госкомстата России), 2003. 295 с. Режим доступа: <https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/2007/04/noe/zip.30.r.pdf>
10. Williams C. C. Evaluating the magnitude of the shadow economy: a direct survey approach. *Journal of Economic Studies*. 2006;33(5):369–385. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443580610706591>
11. Putniņš T. J., Sauka A. Measuring the shadow economy using company managers. *Journal of Comparative Economics*. 2015;43(2):471–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jce.2014.04.001>
12. Fleming M. H., Roman J., Farrell G. The shadow economy. *Journal of International Affairs*. 2000;53(2):387–409. URL: [https://www.researchgate.net/publication/28575188\\_The\\_Shadow\\_Economy](https://www.researchgate.net/publication/28575188_The_Shadow_Economy)
13. Kaufmann D., Kaliberda A. Integrating the unofficial economy into the dynamics of post socialist economies: a framework of analyses and evidence. Policy research working paper 1691. Washington, D.C.: The World Bank, 1996. 44 p. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/145671468771609920/Integrating-the-unofficial-economy-into-the-dynamics-of-post-socialist-economies-a-framework-of-analysis-and-evidence>
14. Киселев С. В., Филимонов И. В., Самсонов В. А., Сеитов С. К. Влияние цифровизации на теневую экономику сельского хозяйства в Российской Федерации. *Ars administrandi (Искусство управления)*. 2024;16(2):240–260. DOI: <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2024-2-240-260> EDN: QNDOHT
15. Самсонов В. А., Сеитов С. К. Оценка вклада теневой экономики в макроэкономические показатели регионов Российской Федерации. Научные исследования экономического факультета. *Электронный журнал*. 2022;14(1):68–85. DOI: <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2022-14-1-68-85> EDN: VMORUD
16. Седова Н. В., Назаренко А. А. Распространение теневых операций среди субъектов малого и среднего предпринимательства как угроза экономической безопасности Российской Федерации. *Национальные интересы: приоритеты и безопасность*. 2018;14(12):2244–2258. DOI: <https://doi.org/10.24891/ni.14.12.2244> EDN: YPOHNN
17. Тимакова Р. Т., Минин Е. Д. Взаимосвязь теневой экономики и сектора малого и среднего предпринимательства в современных условиях. *Теневая экономика*. 2022;6(4):167–180. DOI: <https://doi.org/10.18334/tek.6.4.116424> EDN: AECENW
18. Ладыгина К. С. Фальсификация бухгалтерской отчетности на предприятиях обрабатывающей промышленности в 2012–2019 гг. *Вестник Московского университета. Серия 6: Экономика*. 2024;59(3):234–256. DOI: <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-59-3-11> EDN: BFGHUT

*References*

1. Svetlakov A. G., Shirinkina N. I. The features of occurrence of shadow phenomena in modern conditions of functioning of agribusiness in the regional agroindustrial complex. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2013;(5(111)):82–84. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20264776>
2. Yakubovich E. N. The shadow economy in the agricultural sector of the country. *Nikonovskie chteniya*. 2015;(20-1)83–86. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/vzkzdz>
3. Trotsenko V. M. Counteraction to shadow processes as the basis for ensuring economic security in the agro-industrial complex. *Moskovskiy ekonomicheskij zhurnal* = Moscow journal. 2019;(9):197–204. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24411/2413-046X-2019-19032>
4. Svetlakov A. G., Voronin B. A., Voronina Ya. V. Improvement of the decriminalization system areas of agriculture in the region. *Agrarnyy vestnik Urala* = Agrarian Bulletin of the Urals. 2018;(12(179)):74–81. (In Russ.). DOI: [https://doi.org/10.32417/article\\_5c407a7bab6b63.59604647](https://doi.org/10.32417/article_5c407a7bab6b63.59604647)
5. Fedotov D. Yu., Nevzorova E. N., Orlova E. N. A tax method to calculate the value of the shadow economy of Russian regions. *Regional'naya ekonomika: teoriya i praktika* = Regional Economics: Theory and Practice. 2017;15(11):2015–2032. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24891/re.15.11.2015>
6. Krivorotov V. V., Kalina A. V., Podberезnaya M. A. Evaluation of the prevalence of the shadow economy at the regional level. *Vestnik UrFU. Seriya ekonomika i upravlenie*. 2019;18(4):540–555. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=39950865>
7. Nevzorova E. N., Kireenko A. P., Mayburov I. A. Spatial correlation and distribution of the shadow economy in Russia. *Ekonomika regiona* = Economy of Regions. 2020;16(2):464–478. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17059/2020-2-10>

8. Berkovich M. I., Shurygin A. A. Shadow economy in Russia: economic and statistical assessment of its scale and the ways of its reduction in the country and regions. *Ekonomicheskie i sotsial'nye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz* = Economic and Social Changes: Facts, Trends, Forecast. 2021;14(5):70–84. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.15838/esc.2021.5.77.4>
9. Measuring the unobserved economy: a guide. Translated from English. Moscow: *Statistika Rossii (OIPD GMTs Goskomstata Rossii)*, 2003. 295 p. URL: <https://unece.org/fileadmin/DAM/stats/documents/ece/ces/2007/04/noe/zip.30.r.pdf>
10. Williams C. C. Evaluating the magnitude of the shadow economy: a direct survey approach. *Journal of Economic Studies*. 2006;33(5):369–385. DOI: <https://doi.org/10.1108/01443580610706591>
11. Putniņš T. J., Sauka A. Measuring the shadow economy using company managers. *Journal of Comparative Economics*. 2015;43(2):471–490. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jce.2014.04.001>
12. Fleming M. H., Roman J., Farrell G. The shadow economy. *Journal of International Affairs*. 2000;53(2):387–409. URL: [https://www.researchgate.net/publication/28575188\\_The\\_Shadow\\_Economy](https://www.researchgate.net/publication/28575188_The_Shadow_Economy)
13. Kaufmann D., Kaliberda A. Integrating the unofficial economy into the dynamics of post socialist economies: a framework of analyses and evidence. Policy research working paper 1691. Washington, D.C.: The World Bank, 1996. 44 p. URL: <http://documents.worldbank.org/curated/en/145671468771609920/Integrating-the-unofficial-economy-into-the-dynamics-of-post-socialist-economies-a-framework-of-analysis-and-evidence>
14. Kiselev S. V., Filimonov I. V., Samsonov V. A., Seitov S. K. Digitalization impact on shadow economy of agriculture in the Russian Federation. *Ars administrandi (Iskusstvo upravleniya)*. 2024;16(2):240–260. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17072/2218-9173-2024-2-240-260>
15. Samsonov V. A., Seitov S. K. Assessment of the contribution of the shadow economy to the macroeconomic indicators of the regions of the Russian Federation. *Nauchnye issledovaniya ekonomicheskogo fakulteta. Elektronnyy zhurnal* = Scientific Research of Faculty of Economics. Electronic Journal. 2022;14(1):68–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.38050/2078-3809-2022-14-1-68-85>
16. Sedova N. V., Nazarenko A. A. The spread of informal transactions among small and medium-sized businesses as a threat to the economic security of the Russian Federation. *Natsional'nye interesy: priority i bezopasnost'* = National Interests: Priorities and Security. 2018;14(12):2244–2258. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24891/ni.14.12.2244>
17. Timakova R. T., Minin E. D. The relationship of the shadow economy and the sector of small and medium -sized enterprises in modern conditions. *Tenevaya ekonomika* = Shadow Economy. 2022;6(4):167–180. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.18334/tek.6.4.116424>
18. Ladygina K. S. Falsification of financial statements in Russian manufacturing enterprises in 2012–2019. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 6: Ekonomika = Moscow University Economics Bulletin*. 2024;(3):236–258. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.55959/MSU0130-0105-6-59-3-11>

#### **Сведения об авторах**

**Киселев Сергей Викторович**, доктор экон. наук, профессор, заведующий кафедрой агроэкономики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», ведущий научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 46, 3-й новый учебный корпус, г. Москва, Российская Федерация, 119991, e-mail: [agroecon.econ@org.msu.ru](mailto:agroecon.econ@org.msu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9519-1505>

✉ **Сейтов Санат Каиргалиевич**, кандидат экон. наук, инженер 2-й категории кафедры агроэкономики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», научный сотрудник Евразийского центра по продовольственной безопасности МГУ имени М. В. Ломоносова, Ленинские горы, д. 1, стр. 46, 3-й новый учебный корпус, г. Москва, Российская Федерация, 119991, e-mail: [agroecon.econ@org.msu.ru](mailto:agroecon.econ@org.msu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6505-1712>, e-mail: [sanatren@mail.ru](mailto:sanatren@mail.ru)

**Самсонов Валерий Альбертович**, инженер 2-й категории лаборатории учебной и научной печати экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Ленинские горы, д. 1, стр. 46, 3-й новый учебный корпус, г. Москва, Российская Федерация, 119991, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-9420>

**Филимонов Илья Валерьевич**, кандидат экон. наук, ассистент кафедры философии и методологии экономики экономического факультета, ФГБОУ ВО «Московский государственный университет имени М. В. Ломоносова», Ленинские горы, д. 1, стр. 46, 3-й новый учебный корпус, г. Москва, Российская Федерация, 119991, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1684-5142>

#### **Information about the authors**

**Sergey V. Kiselev**, DSc in Economics, Professor, Head of the Department of Agroecconomics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Leading Researcher, Eurasian Center for Food Security, Lomonosov Moscow State University, 1, building 46, 3rd New Academic Building, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991, e-mail: [agroecon.econ@org.msu.ru](mailto:agroecon.econ@org.msu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9519-1505>

✉ **Sanat K. Seitov**, PhD in Economics, 2nd Category Engineer, Department of Agroecconomics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, Researcher, Eurasian Center for Food Security, Lomonosov Moscow State University, 1, building 46, 3rd New Academic Building, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991, e-mail: [agroecon.econ@org.msu.ru](mailto:agroecon.econ@org.msu.ru), ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6505-1712>, e-mail: [sanatren@mail.ru](mailto:sanatren@mail.ru)

**Valery A. Samsonov**, 2<sup>nd</sup> Category Engineer, Laboratory of Training and Research Press Laboratory, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 1, building 46, 3rd New Academic Building, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7078-9420>

**Ilya V. Filimonov**, PhD in Economics, Assistant, Department of Philosophy and Methodology of Economics, Faculty of Economics, Lomonosov Moscow State University, 1, building 46, 3rd New Academic Building, Leninskie Gory, Moscow, Russian Federation, 119991, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1684-5142>

✉ – Для контактов / Corresponding author



